25

SYNTAR

Synthese-onderzoek op archeologisch materiaal uit Vlaanderen.



Agentschap
Onroerend Erfgoed

SYNTAR 25

Synthese-onderzoek op
archeologisch materiaal
uit Vlaanderen.

Agentschap
Onroerend
Erfgoed

De (pre)historische ijzerproductie in de Antwerpse Kempen

Annelies De Raymaeker, Lente Van Bremt, Nick Van Liefferinge, Julie Van Roy,
Hanne De Langhe, Sara Claessens & Wouter Yperman

COLOFON

TITEL
De (pre)historische ijzerproductie in de Antwerpse Kempen

REEKS
SYNTAR nr. 25

AUTEURS
Annelies De Raymaeker, Lente Van Bremt, Nick Van Liefferinge, Julie Van Roy,
Hanne De Langhe, Sara Claessens & Wouter Yperman

JAAR VAN UITGAVE
2024

Een uitgave van agentschap Onroerend Erfgoed
Wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Omgeving
Published by the Flanders Heritage Agency
Scientific Institution of the Flemish Government, policy area Environment

VERANTWOORDELIJKE UITGEVER
Peter De Wilde

OMSLAGILLUSTRATIE
Deels ontmantelde laagoven op publieksdag te Vorselaar
Copyright Studiebureau Archeologie bv, foto: Wouter Yperman

agentschap Onroerend Erfgoed
Koning Albert II-laan 15 bus 236
1210 Brussel
T +32 2 553 16 50
info@onroerenderfgoed.be
www.onroerenderfgoed.be

Dit werk is beschikbaar onder de Modellicentie Gratis Hergebruik v1.0.
This work is licensed under the Free Open Data Licence v.1.0.

Dit werk is beschikbaar onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie. Bezoek http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ om een kopie te zien van de licentie.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

https://doi.org/10.55465/EXLE1247
ISSN 2736-6057
ISBN 978-9-0752-3079-6
D/2024/3241/350

Studiebureau Archeologie

De (pre)historische ijzerproductie in de Antwerpse Kempen

A. De Raymaeker,Dr. L. Van Brempt, N. Van Liefferinge, J. Van Roy, H. De Langhe, S. Claessens & W. Yperman

Studiebureau Archeologie bv

Provincie Antwerpen

DEPARTEMENT **AARD- EN OMGEVINGSWETENSCHAPPEN**
KU Leuven

Colofon

Synthese-onderzoek: De (pre)historische ijzerproductie in de Antwerpse Kempen

Projectleiding:	Annelies De Raymaeker
Auteurs:	A. De Raymaeker Dr. L. Van Brempt N. Van Liefferinge J. Van Roy H. De Langhe S. Claessens W. Yperman
Wetenschappelijke begeleiding:	Prof. dr. P. Degryse (KU Leuven), dr. F. Rademakers (KU Leuven, British Museum), prof. dr. M. Martinon-Torres (Cambridge University), I. Bourgeois (Provinciaal Archeologisch Depot van de provincie Antwerpen), M. Martens (Agentschap Onroerend Erfgoed)
In samenwerking met:	Provinciaal Archeologisch Depot van de provincie Antwerpen, Erfgoeddepot Noorderkempen, Antwerpse Vereniging voor Romeinse Archeologie, IOED Land van Nete en Aa, Heemkundige kring Grobbendonk, Remmen BV, Science & Heritage

Dankwoord

Een syntheseonderzoek kan niet worden uitgevoerd zonder de juiste mensen. Het is dankzij het hele projectteam dat ons onderzoek tot een goed einde werd gebracht. Graag willen we dan ook alle medewerkers bedanken.

In eerste instantie bedanken we graag alle depotmedewerkers van het depot van de provincie Antwerpen, Erfgoed Noorderkempen, Onroerend Erfgoed, Antwerpse vereniging voor Romeinse Archeologie en archeologische werkgroep Mercurius. Bedankt om alle ensembles en de bijhorende informatie op te zoeken voor ons, bedankt om ons te ontvangen in jullie depot. Deze vondsten vormen de basis van ons onderzoek.

Bedankt ook aan het labo van prof. Degryse van de K.U. Leuven. Dank je om de deuren te openen voor ons en het mogelijk te maken om de analyses uit te voeren. Bedankt aan prof. Degryse zelf voor de feedback en hulp bij de interpretatie van de resultaten.

Bedankt aan Ellen Vandevelde (IOED Land van Nete en Aa), Klaas Remmen en Mercurius voor het organiseren van de publieksdag waar een metaaloven werd opgebouwd en opgestart.

Bedankt aan onze begeleider Marleen Martens (Agentschap Onroerend Erfgoed) en Ignace Bourgeois (provincie Antwerpen) voor alle feedback en kritische bedenkingen. Dank voor de duwtjes in de rug.

Tenslotte een zeer grote dank voor alle collega's van Studiebureau Archeologie. Jullie hebben allemaal getoond waarom jullie deel uit maken van het mooiste team van het land.

Inhoudsopgave

1. Omschrijving syntheseonderzoek 3

1.1 Uitgangssituatie 3

1.2 Omschrijving van de doelgroepen en de beoogde meerwaarde voor die doelgroepen 4

1.3 Doelstellingen van het onderzoek 5

1.4 Actoren 9

2. Leeswijzer, werkmethode en onderzoeksvragen 11

2.1 Leeswijzer 11

2.2 Werkmethode 11

2.2.1 Het bureauonderzoek 11

2.2.2 Macroscopische materiaalstudie (in de archeologische depots) 13

2.2.3 Staalname en natuurwetenschappelijk onderzoek 14

2.3 Onderzoeksvragen bij het syntheseonderzoek 16

3. Inleidend kader 19

3.1 (Pre)historische ijzerproductie in Europa en België 19

3.1.1 Europa 19

3.1.2 België 28

3.2 (Pre)historische ambachten en ijzerproductie in de Antwerpse Kempen 34

4. Algemene aspecten van de (pre)historische ijzerproductie 39

4.1 Algemeen 39

4.2 Het technologisch proces 41

4.2.1 Het directe productieproces: de reductiesmelt 41

4.2.2 Het raffinage- en smeedproces 43

4.3 De installaties 44

4.3.1 De reductieovens 44

4.3.2 De haarden 50

4.4 De grondstoffen 51

4.4.1 IJzererts 51

4.4.2 Houtskool 52

4.5 Slakken en ander productieafval 53

4.5.1 Reductieslakken 54

4.5.2 Smeedslakken 57

4.5.3 Bijkomend productieafval 59

4.6 Problematiek bij de interpretatie 60

5. (Pre)historische ijzerproductie in de Antwerpse Kempen: analysefase I 61

5.1 Aardkundige gesteldheid 61

5.1.1 Geo(morfo)logie 61

5.1.2 Bodemkundige gesteldheid 65

5.1.3 IJzeroer als (voornaamste) grondstof 69

5.1.4 Bodemgesteldheid ter hoogte van de archeologische vindplaatsen 71

5.1.5 Interpretaties en vraagstellingen 71

5.2 Overzicht van archeologische vindplaatsen 77
5.2.1 Overzicht 77
5.2.2 Contextuele informatie (*intra-site verspreiding*) 92
5.2.3 Kwantificatie (gewicht) en datering (*inter-site verspreiding*) 94

5.3 Selectie van sites met (een potentieel) hoge dataresolutie (*case studies*) 97

6. Case studies per archeologische periode: analysefase II **101**

6.1 IJzertijd 101
6.1.1 Site Borsbeek-*Krijgsbaan* 101

6.2 Romeinse periode 126
6.2.1 Site Grobbendonk-*Vorselaarsebaan* 126
6.2.2 Site Oelegem-Steenbergen 155

6.3 Vroege middeleeuwen 168
6.3.1 Site Nijlen-*Mussenpad* 168
6.3.2 Site Herentals-*Roggestraat* 195

7. Experimentele archeologie (publieksdag) **221**

7.1 De opbouw van de oven 221

7.2 Het experiment 224

7.3 Interactie met het publiek 227

7.4 Bevindingen na het experiment 227

8. Synthese van de resultaten **229**

8.1 Algemeen 229

8.2 Beantwoording onderzoeksvragen in het kader van het syntheseonderzoek 230

8.3 Bijkomende onderzoeksvragen na uitvoering van het syntheseonderzoek 236

8.4 Onderzoeksvragen als leidraad bij veldwerk en uitwerking 238

9. Conclusies en aanbevelingen **241**

10. Bibliografie **245**

11. Summary **255**

1. Omschrijving syntheseonderzoek

Lente Van Brempt

Het syntheseonderzoek levert een (her)evaluatie op van, en een onderzoek naar de ijzerproductie in Vlaanderen door middel van een studie van de Antwerpse Kempen vanaf de metaaltijden tot en met de vroege middeleeuwen. Het voornaamste doel betreft het aantonen van de waarde van productieafval en metallurgische resten in de studie van de (pre)historische samenlevingen in onze gebieden, en vervolgens een leidraad aan te bieden voor een primaire determinatie van metaalslakken en andere metallurgische resten.

1.1 Uitgangssituatie

Metalen vondsten (in de vorm van slakkig materiaal of voorwerpen uit ijzer, koperlegeringen of lood) worden geregeld opgediept op archeologische sites in Vlaanderen, maar deze vormen vaak “een ‘vergeten’ categorie die gedoemd is tot een stille dood in het depot” (Vanhoutte e.a. 2022), ondanks het feit dat ze een licht kunnen werpen op de zaken van alledag en ons een kijkvenster op het dagelijkse leven uit het verleden kunnen bieden.

Resten van metaalproductie worden gewoonlijk in grotere hoeveelheden dan de eigenlijke metalen artefacten aangetroffen. Dit is grotendeels toe te schrijven aan de continue cyclus van fabricage, gebruik, depositie, recyclage en opnieuw gebruik waarin metalen voorwerpen gewoonlijk belanden. Toch duidt het alom voorkomen van metaalslakken op archeologische vindplaatsen - in zeer kleine of grote hoeveelheden - op het feit dat metaalproductie van belang was in de (pre)historische samenlevingen in onze gebieden. In tegenstelling tot de universele interesse in andere materiaalcategorieën en occasioneel de finale metalen artefacten (afgewerkte producten), is de aandacht voor metallurgische resten en andere overblijfselen van deze industriële activiteit eerder beperkt.

De waarde van deze materie, die verband houdt met industrie en productie, in de studie van oude samenlevingen wordt ten zeerste onderschat. De productie van metalen is een complex proces dat meerdere stappen inhoudt, die steeds een zeer specifieke kennis en vakmanschap vereisen. Deze kennis is bepaald door het tijdskader en de socioculturele context. Een vergelijkende technologische studie van metallurgisch afval, met als doel het reconstrueren van de *chaîne opératoire,* kan ten gevolge bijdragen tot een beter begrip van de onderzochte samenlevingen uit het verleden. Net zoals andere materialen is het dus van belang om industriële ensembles zoals metaalslakken te onderwerpen aan een comparatief onderzoek.

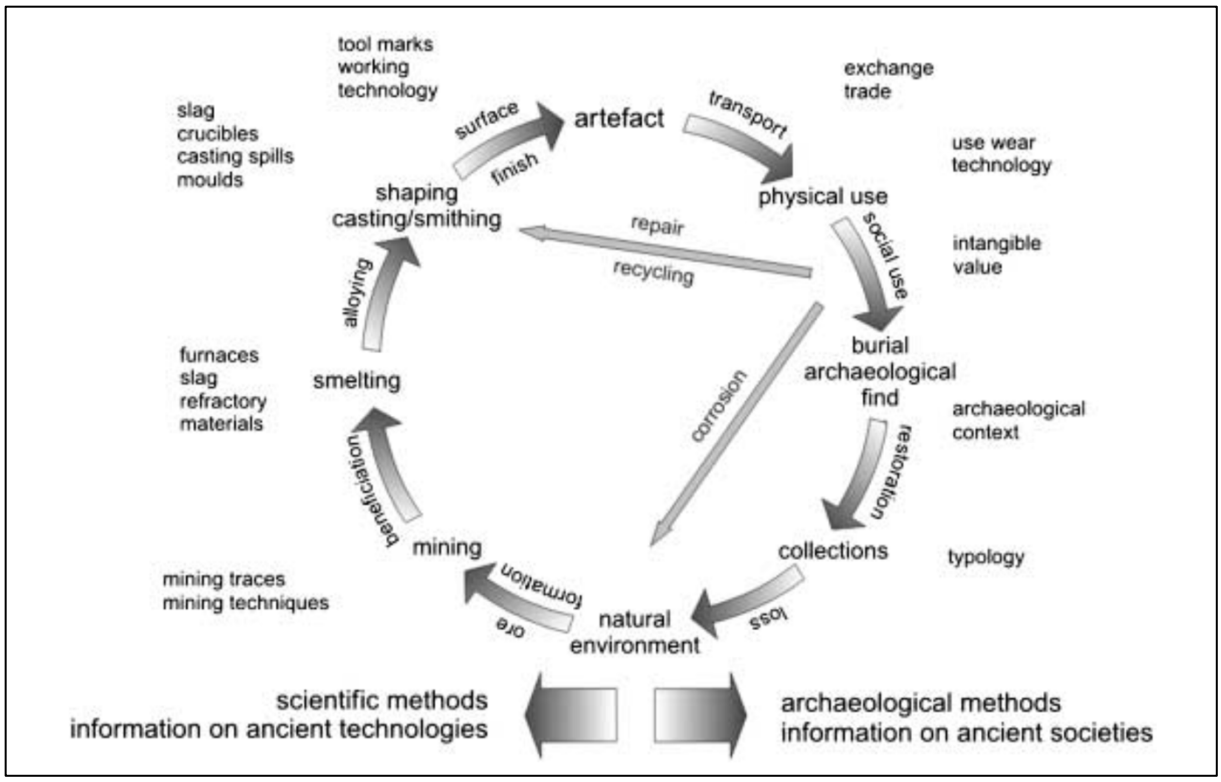


Fig. 1.1: De archeometallurgische cyclus (cf. Rehren & Pernicka 2008: 233, fig. 1).

1.2 Omschrijving van de doelgroepen en de beoogde meerwaarde voor die doelgroepen

Het syntheseonderzoek met betrekking tot de ijzerproductie in de Antwerpse Kempen en de daaropvolgende ontsluiting van de verzamelde data en verworven inzichten richten zich zowel op de commerciële archeologie (archeologen en materiaalspecialisten) als op de academische wereld (onderzoekers en metallurgisten). Ten slotte richt dit syntheseonderzoek zich ook op het bredere publiek.

In eerste instantie is het syntheseonderzoek van belang voor de actoren die zich verdiepen in de archeologie van de Antwerpse Kempen en de archeologie van Vlaanderen in zijn geheel, meerbepaald veldarcheologen en onderzoekers met interesse in de (pre)historische samenlevingen in onze gebieden. De resultaten van dit onderzoeksproject kunnen zowel jonge onderzoekers vanaf het begin van hun carrière, als doorwinterde onderzoekers op hoog niveau bijstaan in het vormen van inzichten, bevindingen kracht bij te zetten, of conclusies te weerleggen. Het openbaar stellen van de databank/catalogus bespaart de onderzoeker kostbare tijd in het verzamelen van de ruwe data in verband met metallurgische activiteiten in de Antwerpse Kempen.

Dit eindverslag van het syntheseonderzoek kan voor de (erkend) archeoloog dienen als referentiewerk in het assessment van metallurgische resten en de archeologische vindplaats, en hem bijstaan in het uitschrijven van gerichte onderzoeken en opstellen van concrete onderzoeksvragen. Tevens zal dit onderzoek de veldarcheoloog een leidraad aanbieden bij de verzameling en determinatie van metaalslakken en andere metallurgische resten.

Verder wordt door middel van dit onderzoek een tot nu toe eerder verborgen luik in de archeometallurgie in Europa geopend: de ijzerproductie in Vlaanderen. Dit onderzoek vormt een aanvulling op de gekende metallurgische activiteit op het Europese continent en is bijgevolg van groot belang voor zowel de nationale als internationale academisch onderzoeker met een specialisatie in de archeometallurgie.

Een laatste maar niet onbelangrijke doelgroep is het bredere publiek. Aangezien de bevindingen van deze studie zullen bijdragen aan het begrip van de (pre)historische samenlevingen in onze gebieden, zal dit onderzoek indirect ook een meerwaarde hebben voor de inwoners van Vlaanderen en de zoektocht naar hun verleden. Materiaalstudies bieden immers een tastbaar gegeven van de archeologie aan. De verschillende vormen van publiekswerking voorzien in het kader van dit onderzoeksproject zullen zo het maatschappelijk draagvlak voor archeologie versterken. De ontsluiting van de bekomen resultaten zal ook zorgen voor meer gerichte en concrete informatie voor gidsen.

1.3 Doelstellingen van het onderzoek

Het voorgestelde syntheseonderzoek ijvert voor een (her)evaluatie van en een onderzoek naar de ijzerproductie in Vlaanderen, en wil zo de waarde van productieafval en metallurgische resten in de studie van de (pre-)historische samenlevingen in onze gebieden aantonen, en vervolgens een leidraad aanbieden voor de gestructureerde inzameling, registratie en macroscopische determinatie van metallurgische resten, met in het bijzonder metaalslakken. De kern van het project bestaat daarbij uit het verzamelen van de nu beschikbare, zeer verspreide, ruwe data en deze aan te vullen met nieuwe data verworven bij verdere gespecialiseerde *case studies* om tot een samenhangend geheel te komen.

Er werd een duidelijke geografische en chronologische afbakening gehanteerd. In het verlengde van onze eerste bevindingen met betrekking tot de metaalslakken van Herentals-Roggestraat (De Raymaeker & Engels, in voorbereiding) en de resultaten die eerder werden bekomen voor deze van Nijlen-Mussenpad (Bourgeois e.a. 2015) beperkte het onderzoek zich tot de regio van de Antwerpse Kempen. In deze regio bevinden zich verschillende erkende archeologische depots wat de *workflow* vereenvoudigde. In eerste instantie werden alle sites vanaf de metaaltijden tot en met de vroege middeleeuwen met metallurgische resten zoals metaalslakken, grondstoffen (ertsen) en technisch aardewerk (i.e. smeltkroezen, ovenfragmenten) opgespoord en gewaardeerd, maar eventueel ook deze met metalen restjes die mogelijk getuigen van recyclage.

Doelstelling 1: Inzicht krijgen in de verspreiding, kwantiteit en samenstelling van metallurgische ensembles

Er is tot op heden geen overzicht gemaakt van de archeologische vindplaatsen in onze gebieden met overblijfselen van metallurgische activiteiten, de kwantiteit en samenstelling van de ensembles, en de context. Hierdoor is het kennisbeeld van de (pre)historische ijzerproductie eerder onderbelicht gebleven. De primaire doesteling van dit onderzoeksproject beoogt daarbij alle beschikbare data wat betreft deze materie in de Antwerpse Kempen samen te brengen in een centrale databank en de

vindplaatsen geografisch een plaats te geven in GIS. Op basis van de ingezamelde ruwe data kan een primaire analyse worden gemaakt om zo tot een eerste algemeen overzicht te komen van de verschillende archeologische vindplaatsen en de metallurgische activiteit in de regio.

Doelstelling 2: Een determinatie van de beschikbare metallurgische ensembles aan de hand van een macroscopische studie

Door het beperkt inzicht in de materie en het gebrek aan een referentiewerk of leidraad bij de determinatie en beschrijving van metallurgische resten zijn deze zeer beperkt voor reeds gerapporteerde ensembles. Hierdoor komen we een algemeen overzicht tekort en is het voor de (erkend) archeoloog of gespecialiseerd onderzoeker moeilijk in te schatten welke positie de aangetroffen metallurgische resten of een onderzocht ensemble en de archeologische vindplaats hebben in het verhaal van de ijzerproductie in onze gebieden. Op basis van een aanvullend macroscopisch onderzoek en primaire determinatie van de reeds geregistreerde metallurgische resten uit de Antwerpse Kempen kan een volgende analyse worden gemaakt om zo weer een stap verder te geraken in de interpretatie van de verschillende archeologische vindplaatsen en de metallurgische activiteit in deze regio. Deze interpretaties kunnen dan de aanzet vormen voor verder specialistisch onderzoek.

Hierbij zal een eerste antwoord geformuleerd worden op de algemene vooropgestelde onderzoeksvragen betreffende ijzerproductie in de Antwerpse Kempen doorheen de eeuwen. Deze algemene onderzoeksvragen zijn:

- *Welke soort nederzettingstypes (landelijk of stedelijk) getuigen van metallurgische activiteiten?*
- *Wat is de samenstelling/aard en omvang van de metallurgische ensembles van de verschillende nederzettingen?*
- *Wat zijn de morfologische, mineralogische en chemische kenmerken van de verschillende slaktypen? Zijn deze het resultaat van het smelten van het erts of het smeden van het ijzer?*
- *Indien enkel het secundaire proces plaatsvond, waar werd de eerste fase mogelijks uitgevoerd?*
- *Wat is de schaal waarop ijzer geproduceerd werd? Was het een éénmalige of langdurige onderneming?*
- *Wat zijn de doeleinden van de productie? Lokaal gebruik of export?*
- *Waar in de nederzettingen vonden deze metallurgische activiteiten plaats?*

Doelstelling 3: Een gedetailleerd en comparatief onderzoek van enkele metallurgische gehelen aan de hand van bijkomende microstructurele en/of chemische analyses

Een macroscopische studie volstaat echter zelden om met zekerheid bepaalde meer technologische vragen zoals hierboven geformuleerd te beantwoorden. Een belangrijk aspect in de studie van ijzerproductie is het onderscheiden van metaalslakken die zijn gevormd door primaire (het smelten van ijzererts tot halffabricaten) en secundaire productieprocessen (het smeden van ijzer tot

gebruiksvoorwerpen). Door de complexiteit van de materie is dit niet altijd mogelijk zonder bijkomende microstructurele en/of chemische analyses.

Op een aantal uitzonderingen na is onderzoek naar (pre)historische technologieën binnen de Vlaamse archeologie eerder zeldzaam.[1] Zeker archeometallurgische studies blijven in onze gebieden zeer gelimiteerd. De reconstructie van de *chaîne opératoire* van een artefact kan de archeoloog en onderzoeker bijstaan om inzicht te verwerven in de samenlevingen uit het verleden. Om alle fases in het productieproces, van erts tot object, te kunnen identificeren en het hele traject te kunnen reconstrueren en in zijn socio-economische kader te plaatsen zijn diepgaande technologische studies noodzakelijk. Deze kunnen bewerkstelligd worden aan de hand van *case studies*. De bevindingen ten gevolge van een diepgaande technologische studie van geselecteerde *case studies* kunnen een aanvulling zijn op de resultaten van het macroscopisch onderzoek, of kunnen de reeds gevormde conclusies in verband met de ijzerproductie in de Antwerpse Kempen weerleggen.

Enkele van de onderzoeksvragen die we trachten te beantwoorden aan de hand van *case studies* met toepassing van microstructurele en chemische analyse zijn:

- *Welk type erts werd er gebruikt? Waar werd het erts mogelijks gewonnen?*
- *Werd het erts ook aangetroffen op de site? Werd de eerste behandeling van het erts ook toegepast? Wat hield deze eerste stap in het proces concreet in?*
- *In wat voor constructies werden de ertsen gesmolten of het ijzer gesmeed?*
- *Welke vorm had de smeltoven, en uit welk materiaal bestond deze?*
- *Welke temperatuur werd er bereikt om een vloeibare slak te vormen en metallisch ijzer te bekomen? Werd een flux (i.e. vloeimiddel: bestanddeel dat de smelttemperatuur verlaagt) gebruikt bij het reductiesmelten?*
- *Getuigen de metallurgische resten van een kwaliteitsvol proces of eerder ondermaatse kennis?*
- *Was het toegepast technologisch proces kenmerkend voor de regio en het tijdskader?*
- *In het geval van een chronologische vergelijking, is er een vooruitgang in efficiëntie van het productieproces waar te nemen?*
- *In geval van een geografische vergelijking, kunnen we een duidelijk onderscheid maken tussen nederzettingstype op basis van technologische kwaliteit en schaal van ijzerproductie?*

Doelstelling 4: Het samenbrengen van de resultaten tot een overzicht van de ijzerproductie in de Antwerpse Kempen

Ondanks de vele referentiewerken over aardewerk en andere materiaal- en vondstcategorieën bestaat er tot op heden geen uitgebreide publicatie die zich verdiept in de metallurgie in onze gebieden. Dit is

[1] Voor wat betreft de (herkomstbepalingen van grondstoffen bij) (Romeinse) aardewerkproductie zijn reeds intensieve onderzoeken uitgevoerd in het kader van doctoraatsverhandelingen. Voor wat betreft het aardewerk uit de *Civitas Tungrorum* en de *vicus* van Tienen dienen resp. de onderzoeken van B. Borgers (2014) en M. Martens (2012) aangehaald te worden. Onderzoek op benen artefacten en een analyse van dierlijke lijmsoorten/mergproducties gebeurde reeds op materiaal uit Romeinse contexten in Tongeren en Tienen (Ervynck & Vanderhoeven 1998).

echter van groot belang voor de veldarcheoloog en gespecialiseerd onderzoeker in de studie van (pre)historisch Vlaanderen.

Het samenvoegen van de resultaten verkregen bij de voorgaande doelstellingen en de bekomen antwoorden op de vooropgestelde onderzoeksvragen zal ons leiden tot een nieuw inzicht in de ijzerproductie en de socio-economische context in de Antwerpse Kempen. Deze zullen we vervolgens uitwerken tot een samenhangend overzicht dat kan dienen als referentiewerk voor de metallurgie in Vlaanderen van de metaaltijden tot en met de vroege middeleeuwen.

Doelstelling 5: Het opstellen van een leidraad voor de inzameling, registratie en macroscopische determinatie van metallurgische resten

Er bestaan momenteel handleidingen voor het assessment van een variëteit aan materialen. Voor productieafval zijn deze echter eerder beperkt, en metaalslakken worden nagenoeg volledig verwaarloosd. Een vijfde doelstelling van dit syntheseonderzoek betreft het opstellen van een leidraad voor de gestructureerde inzameling, registratie en macroscopische determinatie van metaalslakken en andere metallurgische resten om de kwaliteit van de rapportage van archeologische onderzoeken en het assessment te bevorderen.

Doelstelling 6: Publiekswerking

Van ijzerproductie in onze gebieden is tot op heden weinig geweten. Dit syntheseonderzoek zal zo een stukje van ons verleden ontrafelen. Materiaalstudies bieden het brede publiek een tastbaar gegeven van de archeologie aan. Kunst en ambacht boeit jong en oud. Vuur en het mysterie van productieprocessen waarbij zeer hoge temperaturen aan te pas komen intrigeren iedereen. Bijgevolg is de finale doelstelling van dit onderzoeksproject de bekomen resultaten open te stellen voor iedereen en het brede publiek zo goed als mogelijk te betrekken, en zo het draagvlak voor archeologie te vergroten.

Het behalen van deze doelstellingen heeft een meerwaarde voor elke van de doelgroepen:

- Dit onderzoek wenst de **veldarcheoloog** een leidraad aan te bieden in de verzameling en determinatie van metaalslakken en andere metallurgische resten.
- Het eindrapport van dit onderzoek kan voor de **(erkend) archeoloog** dienen als referentiewerk in het assessment van metallurgische resten en de archeologische vindplaats, en hem bijstaan in het uitschrijven van gerichte onderzoeken en het opstellen van concrete onderzoeksvragen.
- De resultaten van dit onderzoeksproject kunnen **onderzoekers** bijstaan in het vormen van inzichten, het kracht bijzetten van bevindingen, of het weerleggen van conclusies.
- Het **openbaar** stellen van de databank/catalogus, opgemaakt binnen het kader van dit onderzoek, bespaart onderzoekers of andere geïnteresseerden kostbare tijd in het verzamelen van de ruwe data in verband met metallurgische activiteiten in de Antwerpse Kempen.
- Door middel van dit onderzoek wordt een tot nu toe eerder gesloten luik in de archeometallurgie geopend: de ijzerproductie in Vlaanderen. Dit onderzoek zal een aanvulling vormen op de gekende metallurgische activiteit op het Europese continent en is bijgevolg van

groot belang voor zowel de nationale als internationale **academici met een specialisatie in de archeometallurgie.**

- De bevindingen van deze studie zullen bijdragen aan het begrip van de (pre)historische samenlevingen in onze gebieden en bijgevolg een meerwaarde hebben voor de **inwoners van Vlaanderen** en de zoektocht naar hun verleden. De verschillende vormen van publiekswerking voorzien in het kader van dit onderzoeksproject zullen bijdragen aan de versterking van het maatschappelijk draagvlak voor archeologie. De ontsluiting van de bekomen resultaten zal ook zorgen voor meer gerichte en concrete informatie voor gidsen.

1.4 Actoren

Het syntheseonderzoek werd uitgevoerd door werknemers van Studiebureau Archeologie bv, in samenwerking met of met ondersteuning van het Departement voor Aard en Omgevingswetenschappen van de KU Leuven, het Provinciaal Archeologisch Depot van de provincie Antwerpen, overige (al dan niet erkende) depots in de Antwerpse Kempen en de IOED Land van Nete en Aa. Verdere archeologische en inhoudelijke ondersteuning werd aangeboden door Ignace Bourgeois, archeoloog bij het Provinciaal Archeologisch Depot, provincie Antwerpen.

De macroscopische studie en het natuurwetenschappelijke luik werden uitgevoerd door dr. Lente Van Brempt. Voor het natuurwetenschappelijke luik werd dr. Van Brempt begeleid door prof. dr. Patrick Degryse (KU Leuven, departement voor Aard- en omgevingswetenschappen). Beiden hebben doorheen de jaren een internationaal netwerk uitgebouwd. Zo kon het onderzoeksteam eveneens rekenen op de inzichten van dr. Frederik Rademakers (KU Leuven & The British Museum, Londen) en de zeer omvangrijke expertise in archeometrie van Prof. Marcos Martinon-Torres (University of Cambridge). Dr. Van Brempt leverde een algemene samenvatting van de resultaten en een eerste interpretatie van de gegevens. De verdere uitwerking gebeurde door Studiebureau Archeologie.

Voor wat betreft het luik publiekswerking werd op 18 september 2022 te Vorselaar een publieksdag georganiseerd. Het centrale onderwerp van deze dag was ambacht en technologie in (pre)historisch Vlaanderen. Hierbij werd een demonstratie gegeven waarbij er ijzer volgens de (pre)historische technieken geproduceerd en gesmeed werd. Het volledige experiment gebeurde in samenwerking met Remmen BV, Science & Heritage.

2. Leeswijzer, werkmethode en onderzoeksvragen

Nick Van Liefferinge, Julie Van Roy & Lente Van Brempt

2.1 Leeswijzer

In het geval de lezer opteert voor een *quickscan* (in functie van het definiëren van de rode draad bij het syntheseonderzoek) wordt aanbevolen om eerst de samenvatting van de resultaten (= onderdeel 8.1) en de antwoorden op de algemene onderzoeksvragen (= onderdeel 8.2) te raadplegen.

De eerste twee hoofdstukken van dit verslag behandelen de doelstellingen en de werkmethode van het syntheseonderzoek, met een oplijsting van de onderzoeksvragen. Hierna wordt een klassiek schema gehanteerd, waarbij inleidende hoofdstukken (hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4) worden gevolgd door een beschrijving van de analyseresultaten. Deze analyse bestaat uit twee onderdelen, nl. een bureauonderzoek met uitgebreide aardkundige kadering van het onderzoeksgebied (hoofdstuk 5) en de uitwerking van *case studies* met een presentatie van de resultaten van het natuurwetenschappelijk onderzoek (hoofdstuk 6).[2] De synthese van het syntheseonderzoek (hoofdstuk 8) omvat een samenvatting van de voornaamste resultaten, gevolgd door een beantwoording van de onderzoeksvragen. Men vindt in dit hoofdstuk een formulering van bijkomende onderzoeksvragen terug die relevant kunnen zijn voor toekomstig (synthese)onderzoek buiten het kader van dit project, alsook onderzoeksvragen die als leidraad kunnen worden gebruikt voor de behandeling en uitwerking van grote hoeveelheden (ijzer)slakken door de veldarcheoloog. In hoofdstuk 9 worden de conclusies – en enkele hieraan gekoppelde kritische opmerkingen/aanbevelingen – na de afloop van het syntheseonderzoek beknopt behandeld. Het geheel wordt afgesloten met een lijst van de geraadpleegde literatuur.

2.2 Werkmethode

2.2.1 Het bureauonderzoek

De eerste fase van het onderzoek bestond uit het opzoeken van sites waarop metaalslakken of sporen van ijzerproductie en -verwerking werden aangetroffen. Het bureauonderzoek vond gespreid plaats vanaf eind september 2021 tot eind december 2021. Aangezien er een groot aantal rapporten bestaat, was er niet voldoende tijd om deze allemaal integraal door te lezen. Er werden daarom op voorhand enkele zoektermen vastgelegd, waarop in de rapporten gezocht kon worden:

- metaalafval	- (metaal)slak	- sintel
- (metaal)erts	- oven	- smeltkroes
- metaalproductie	- ovenwand	- technisch aardewerk

[2] De resultaten van de natuurwetenschappelijke analyses - die als bijlagen zijn toegevoegd aan dit verslag - vormen de basis van de uitwerking en interpretaties in hoofdstuk 6 (*case studies*). Alle bijlagen worden via zenodo beschikbaar gesteld, het DOI is 10.5281/zenodo.8133755.

Van zodra deze trefwoorden bepaald waren, kon het onderzoek echt van start gaan. De Centraal Archeologische Inventaris vormde hierbij het eerste vertrekpunt. Op dat moment was de update van de Centraal Archeologische Inventaris (CAI) echter nog niet beschikbaar, waardoor de gegevens in de inventaris beperkt bleven tot oudere onderzoeken. Een bijkomende complicatie is dat de onderzoeken zijn opgedeeld in verschillende categorieën. Zo komen sommige opgravingen soms terecht bij de categorie controle van werken. Er zat dus niets anders op dan alle meldingen in de inventaris te overlopen. Indien er een digitaal rapport beschikbaar was, werd dit opgezocht via het Open Archief van Onroerend Erfgoed-publicaties (OAR). Er bleken in de OAR echter ook publicaties te staan die niet in de CAI te vinden waren. Een andere hindernis bleek de benaming van de sites te zijn. Oudere rapporten gebruiken vaak de naam van een ondertussen gefuseerde deelgemeente, waardoor deze niet onmiddellijk gevonden werd indien enkel op de hoofdgemeente werd gezocht. In tegenstelling tot in de meer recente inventaris van eindverslagen is het in de OAR niet mogelijk om een plaatsnaam aan te vinken in het zoekvenster. Hoewel vervelend, vormde dit niet het grootste probleem van de OAR. Het grootste gebrek van de OAR is evenwel dat de bijlagen van de onderzoeksrapporten niet mee gedigitaliseerd zijn. Het ontbreken van sporen- en vondstenlijsten is zeer lastig wanneer je op zoek bent naar gedetailleerde informatie met betrekking tot een bepaalde activiteit op een site. Er zijn veel sites met een kleine hoeveelheid metaalslakken. Vaak worden deze dan niet opgenomen in de hoofdtekst, maar wel in de vondstenlijsten. Ook ontbraken in veel gevallen allesporenplannen, waardoor het moeilijk was om een beeld van de site te bekomen. Een laatste nadeel van de OAR is dat er geen *full text search* kan worden uitgevoerd in het hoofdmenu.

Van een deel van de oudere opgravingen zijn echter nooit digitale rapporten verschenen. Vaak werden de onderzoeksresultaten zelfs niet eens uitgewerkt tot een volledig rapport en verschenen er enkel korte artikels. Om deze onderzoeken toch te betrekken in het syntheseonderzoek waren er enkele bezoeken aan de Onroerend Erfgoed bibliotheek in Brussel noodzakelijk.

Vermits de vernieuwde CAI tijdens het bureauonderzoek nog niet beschikbaar was, werden de resultaten van recenter archeologisch onderzoek opgezocht via de toepassingen ‘eindverslagen’ en ‘(archeologie)nota’s’ op het loket van Onroerend Erfgoed. In het geval van de archeologienota’s werden rapporten die enkel uit een bureaustudie of een landschappelijk bodemonderzoek bestonden wel buiten beschouwing gelaten. Een groot struikelblok bij het loket is dat er nergens in de zoekfunctie een historische periode geselecteerd kan worden. Er zat dus niets anders op dan alle eindverslagen en (archeologie)nota’s te openen, ook al bleken ze niet altijd over de periode van het syntheseonderzoek te gaan. Het is eveneens jammer dat er geen mogelijkheid bestaat om archeologierapporten te consulteren of een overzicht van lopende opgravingen te bekomen. De enige manier om deze informatie te verkrijgen is om alle archeologische bedrijven en instanties te contacteren met de vraag of ze mogelijk aan een relevant project werken. Indien dit overzicht wel zou bestaan, zou er veel gerichter informatie gevraagd kunnen worden.

Na het doornemen van alle rapporten en verslagen dienden de gegevens overzichtelijk te worden gesynthetiseerd. Wouter Yperman van Studiebureau Archeologie bv ontwikkelde hiervoor een databank met behulp van de software Filemaker Pro, waarin elke site waar er sprake was van metaalslakken of ijzerproductie en/of -verwerking werd opgenomen. Per site is er een fiche voorzien, waarop de algemene gegevens van het onderzoek staan samengevat: de locatie, de aard van de site en de periode. Er werd ook aangegeven welke zoektermen een positieve treffer hebben opgeleverd.

Verder bevat de fiche informatie over het slakmateriaal. Indien het spoornummer bekend was dan werden de in het rapport vermelde slakken of gerelateerde vondsten per spoornummer opgesomd met aantallen en gewicht. Vaak bleken deze gegevens echter niet bekend. Vooral bij de oudere rapporten is er wel melding van slakken, maar zijn er geen details opgenomen over hoeveelheden of gewicht. Ten slotte werd ook de bewaarplaats van het materiaal in de databank geregistreerd. Deze gegevens bleken echter ook vaak te ontbreken. Soms ging het materiaal naar de opdrachtgever, al is deze dan vaak niet bekend, maar vaak werd de bewaarplaats gewoon niet vermeld. Voor de recentere onderzoeken vormde dit minder een probleem, aangezien de archeologische depots ondertussen instaan voor een vaste regio. Voor oudere opgravingen is het soms echter een groot vraagteken wat er met het materiaal gebeurd is.

Om een geografisch overzicht te creëren was het aanmaken van enkele *shapefiles* in QGIS de handigste oplossing. In een eerste fase werden alle sites die in de databank staan opgenomen in een algemene laag. Vervolgens werden ze opgedeeld in periodes zodat er per tijdsvak een geografisch overzicht in QGIS kan worden gegenereerd. Deze opdeling is gebaseerd op de periode waaruit het slakmateriaal dateert. Het kan dus goed zijn dat, in het geval van een meerperiodensite, een deel van de site uit een vroegere of latere periode stamt (zie paragraaf 5.2.3).

2.2.2 Macroscopische materiaalstudie (in de archeologische depots)

Op basis van de resultaten van de bureaustudie vond een eerste selectie van sites plaats. Sites met slechts een handvol slakken of waarvan de bewaarplaats niet gekend is, vielen buiten het verdere onderzoek. Van de 116 sites bleven er na de eerste selectie nog 49 over, waarvan het materiaal in de depots of bij de betrokken bedrijven werd opgevraagd. In de praktijk bleek echter dat het materiaal soms enkel deels of soms helemaal niet in het depot aanwezig was. Al snel bleek eveneens dat een deel van de in de rapporten vermelde metaalslakken eigenlijk geen slakken waren. Vaak werden sintels of brokken ijzeroer verkeerdelijk als slak benoemd. Als gevolg hiervan viel er nog een deel van de sites weg en bleven er uiteindelijk 27 sites over met voldoende materiaal. Een bezoek aan volgende depots was noodzakelijk: het onroerenderfgoeddepot Provinciaal Archeologisch Depot Antwerpen, het Erfgoeddepot Noorderkempen, het depot van de Antwerpse Vereniging voor Romeinse Archeologie (AVRA), het depot van de heemkundige kring van Grobbendonk en het onroerenderfgoeddepot van het agentschap Onroerend Erfgoed. Ook de vondsten van enkele recente opgravingen, uitgevoerd door Monument Vandekerckhove nv en LAReS Archeologie bv, werden in de studie opgenomen. Een laatste obstakel bleek de ongewassen staat van een deel van het archeologisch ensemble. Nog afgezien van het feit dat dit weinig ideaal is voor een goede bewaring op lange termijn, zorgde dit er ook voor dat details niet goed zichtbaar waren. De slakken werden zo goed als mogelijk droog gereinigd voor de eerste inspectie. Uiteindelijk werden de stukken die in aanmerking kwamen voor verdere analyse ook volledig gewassen, wat echter kostbare onderzoekstijd kostte.

De macroscopische studie werd uitgevoerd door dr. Lente Van Brempt, hierin bijgestaan door Julie Van Roy en Sara Claessens van Studiebureau Archeologie bv. Per site werden de metaalslakken en aanverwante vondsten (technisch aardewerk, metallurgisch afval en grondstof) bestudeerd. Hiervoor ontwierp Wouter Yperman een tweede databank in Filemaker Pro, met ruimte om elke slak en

relevante vondst apart te beschrijven. Dit leverde een beschrijving op van maar liefst 4290 slakken en verwante vondsten, met een totaalgewicht van 303,86 kg.

In eerste instantie werden de vondsten in verschillende categorieën opgedeeld. Nadien werden per vondstcategorie het type en subtype bepaald, volgens onderstaande opdeling:

erts	***ijzerslak***	***metaal***	***metallurgisch afval***	***technisch aardewerk***
ijzeroer	onbepaald	ijzer	brandstofasse-	bekleding
limoniet	reductieslak	andere	sintel	fragment
onbepaald	smeedslak		brandstofasse-slak	ovenwand
			conglomeraat	haardwand
			onbepaald	smeltkroes
			sintel	*tuyère*
				wand

De macroscopische studie bestond uit het beschrijven van de uiterlijke kenmerken van de slakken. Hierbij kwamen volgende zaken aan bod: gewicht, afmetingen, vorm, samenstelling, staat van het oppervlak en de bodem, mate van corrosie, inclusies, doorsnede, porositeit en magnetisme. Alle beschreven stukken werden vervolgens gefotografeerd in een mobiele fotostudio met behulp van kunstmatig licht. Kleinere en minder interessante ensembles werden in groep gefotografeerd. Van de overige slakken en vondsten zijn detailopnames gemaakt van de boven- en onderzijde, profielen, doorsnedes en inclusies.

2.2.3 Staalname en natuurwetenschappelijk onderzoek

Enkele sites werden geselecteerd voor een verder onderzoek aan de hand van een chemische en microstructurele analyse. Per periode, i.e. ijzertijd, Romeinse periode en vroege middeleeuwen, werd minstens één site (met potentieel hoge dataresolutie) geselecteerd. Om een vergelijkende studie te kunnen uitvoeren werd indien mogelijk ook een tweede site uitgekozen. Veel ensembles, vooral deze voor de ijzertijd en Romeinse periode, zijn in regel te beperkt in omvang of te fragmentarisch en verlenen zich niet voor een kwalitatieve studie.

Initieel was gepland om per *case study* een minimum van 50 fragmenten te onderwerpen aan een vergelijkende analyse van de chemische samenstelling met behulp van *portable X-Ray Fluorescence*. Het werd echter snel duidelijk dat de grote hoeveelheid aan corrosieproducten en sediment op het oppervlak van de ijzerslakken de resultaten sterk zouden beïnvloeden. De metingen zouden bijgevolg niet representatief zijn voor de eigenlijke samenstelling van de ijzerslakken. Uiteindelijk werden voor de vijf *case studies* tien tot twintig fragmenten geselecteerd. Deze selectie representeert de types die onderscheiden werden op macroscopisch niveau. Deze metaalslakken werden doormidden gezaagd met behulp van een tegelzaag. Deze doorsnedes brachten meteen al wat duidelijkheid over de samenstelling van de ijzerslakken, en werden vervolgens onderworpen aan een chemische analyse door middel van *portable X-Ray Fluorescence* in het Geo-instituut van de KU Leuven. Hierbij werd gebruikt gemaakt van een *Bruker pXRF* toestel, *Tracer III SD*, voor 130 seconden per staal in *mining mode (Main range 45 sec, low range 45 sec, en light range 60 sec)*, 15 kV en 20 µA. Om de lichte

elementen beter te kunnen detecteren werd het toestel aangesloten op een vacuümpomp. Om aan de variabiliteit van ijzerslakken tegemoet te komen werden per doorsnede minimaal drie metingen op verschillende locaties uitgevoerd. De data werden verzameld met de *spectral induced polarization XRF (S1PXRF) software (Bruker)* en vervolgens geïmporteerd in de *S1CalProcess software (Bruker)*.

Er werd bewust gekozen om de bekomen resultaten niet verder te kalibreren of te normaliseren en de data als *counts per second* te behouden. Deze werden geïmporteerd in *Microsoft Excel* en zo verder behandeld. Per doorsnede werd een gemiddelde van de drie metingen berekend, en deze werden vervolgens met elkaar vergeleken om eventuele patronen te kunnen onderscheiden op site-niveau en tussen de ensembles onderling. Hierbij werd eenvoudigweg gebruik gemaakt van de grafieken in Microsoft Excel, maar ook van *principal component analysis*.



Fig. 2.1: *Bruker pXRF-toestel*.

Van een tiental doorsnedes per *case study* werd vervolgens stalen genomen van ca. 1 cm^3. Deze werden verankerd in een hars. De stalen werden vervolgens gepolijst volgens metallurgische procedures om tot gepolijste stalen te komen. De stalen werden bestudeerd onder een metallurgische microscoop met vlak-polariserend licht om de verschillende fases in de microstructuur te identificeren en te determineren. Ook de microscopische analyse werd uitgevoerd in het Geo-instituut van de KU Leuven. Ter ondersteuning van de microstructurele analyse werd de chemische samenstelling van de gepolijste stalen ook bepaald aan de hand van *pXRF*, onder dezelfde instellingen als deze hierboven genoemd.

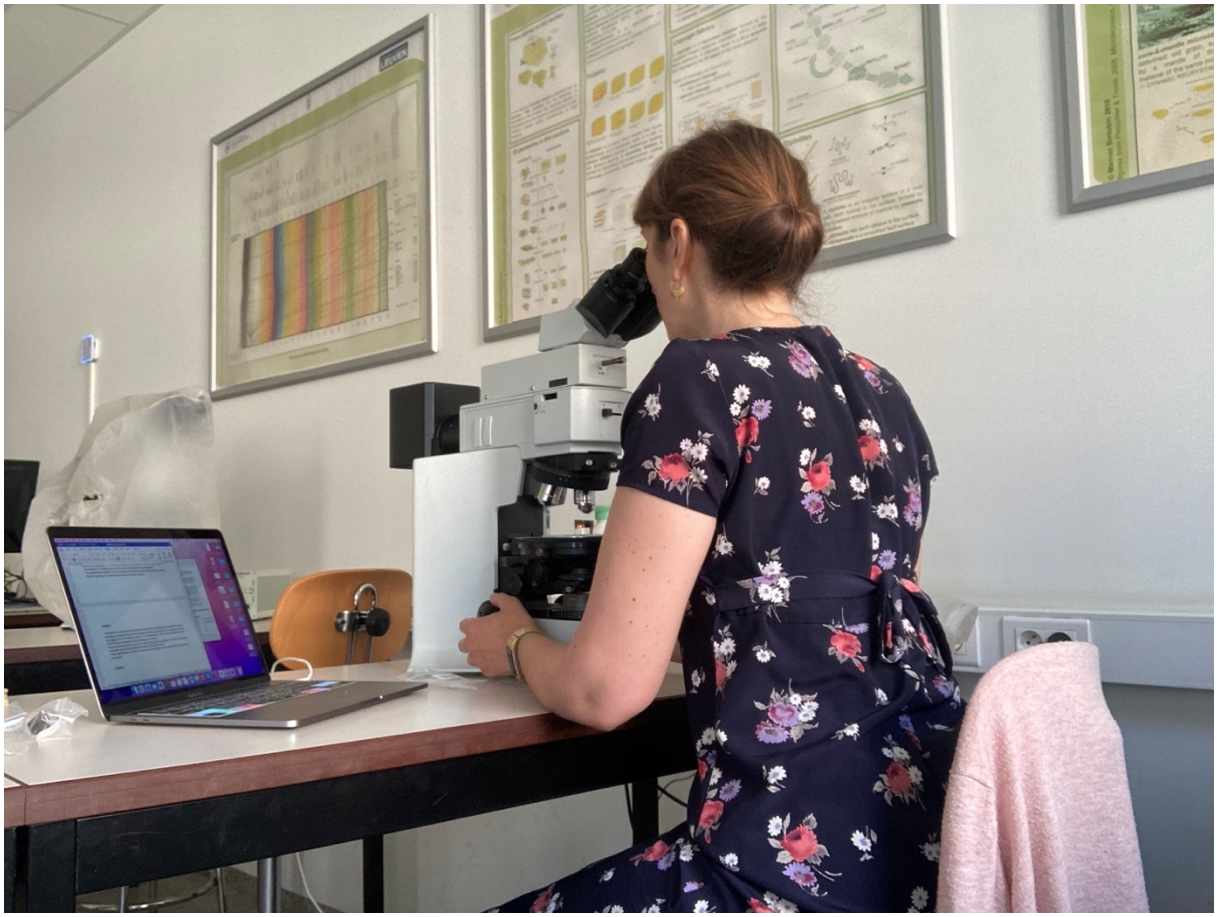


Fig. 2.2: Microscopische analyse van de gepolijste stalen.

2.3 Onderzoeksvragen bij het syntheseonderzoek

De vooropgestelde **algemene onderzoeksvragen** betreffende de (pre)historische ijzerproductie in de Antwerpse Kempen zijn:

- *Welke soort nederzettingstypes (landelijk of stedelijk) getuigen van metallurgische activiteiten?*
- *Wat is de samenstelling/aard en omvang van de metallurgische ensembles van de verschillende nederzettingen?*
- *Wat zijn de morfologische, mineralogische en chemische kenmerken van de verschillende slaktypen? Zijn deze het resultaat van het smelten van het erts of het smeden van het ijzer?*
- *Indien enkel het secundaire proces plaatsvond, waar werd de eerste fase mogelijks uitgevoerd?*
- *Wat is de schaal waarop ijzer geproduceerd werd? Was het een éénmalige of langdurige onderneming?*
- *Wat zijn de doeleinden van de productie? Lokaal gebruik of export?*
- *Waar in de nederzettingen vonden deze metallurgische activiteiten plaats?*

De **specifieke onderzoeksvragen** die we trachten te beantwoorden aan de hand van *case studies* met toepassing van microstructurele en chemische analyse zijn:

- *Welk type erts werd er gebruikt? Waar werd het erts mogelijks gewonnen?*
- *Werd het erts ook aangetroffen op de site? Werd de eerste behandeling van het erts ook toegepast? Wat hield deze eerste stap in het proces concreet in?*
- *In wat voor constructies werden de ertsen gesmolten of het ijzer gesmeed?*
- *Welke vorm had de smeltoven, en uit welk materiaal bestond deze?*
- *Welke temperatuur werd er bereikt om een vloeibare slak te vormen en metallisch ijzer te bekomen? Werd een flux (i.e. vloeimiddel: bestanddeel dat de smelttemperatuur verlaagt) gebruikt bij het reductiesmelten?*
- *Getuigen de metallurgische resten van een kwaliteitsvol proces of eerder ondermaatse kennis?*
- *Was het toegepast technologisch proces kenmerkend voor de regio en het tijdskader?*
- *In het geval van een chronologische vergelijking, is er een vooruitgang in efficiëntie van het productieproces waar te nemen?*
- *In geval van een geografische vergelijking, kunnen we een duidelijk onderscheid maken tussen nederzettingstype op basis van technologische kwaliteit en schaal van ijzerproductie?*

3. Inleidend kader

Hanne De Langhe

3.1 (Pre)historische ijzerproductie in Europa en België

3.1.1 Europa

Het oudste bewijs voor het gebruik van ijzer komt uit het Nabije en Midden-Oosten. Veertien voorwerpen werden aangetroffen op vier verschillende sites die dateren van voor 3000 v.C. Analyses hebben aangetoond dat enkele van deze voorwerpen vervaardigd zijn uit meteoritisch ijzer. Ook de terminologie voor ijzer van de vroegste samenlevingen in het oostmediterrane gebied en het Midden-Oosten wijst op het gebruik van meteoritisch ijzer in de prehistorie. IJzermeteorieten waren vrijwel overal aanwezig, zij het in heel kleine hoeveelheden (Joosten 2004, 20; Pleiner 2000, 7; Tylecote 1992, 47).

Het vroegste gesmolten ijzer verscheen in het Midden-Oosten rond 3000 v.C. Er wordt verondersteld dat de uitvinding van het ijzersmelten nauw gerelateerd is aan de koperproductie. Sinds de bronstijd werden ijzerrijke gesteenten gebruikt als vloeimiddel in het smelten van koperertsen, waarbij de mogelijkheid bestond dat deze accidenteel gereduceerd werden tot ijzer. Dit bijproduct werd mogelijk herkend als ijzer door de gelijkenis met meteoritisch ijzer. Het oudste bewijs voor koperproductie in het Midden-Oosten dateert uit het 4de millennium v.C. Sinds de introductie van de koperlegeringen vervingen deze metalen vuursteen en steen als materiaal voor het vervaardigen van werktuigen en wapens (Joosten 2004, 19-20; Pleiner 2000, 11; Tylecote 1992, 47). IJzer kende echter een zeer langzame evolutie. Brons was gedurende lange tijd nog het meest gebruikte metaal. IJzer had mogelijk een eerder symbolische en rituele dan een technologische waarde. De ijzerproductie was zo aanvankelijk een kleinschalige en onregelmatige onderneming. Toch kende deze een geleidelijke toename, tot ca. 1100 v.C.

De overgang van de 12de naar de 11de eeuw wordt gezien als het begin van de proto-ijzertijd. IJzer werd nu op een redelijk grote schaal en met regelmaat vervaardigd, maar nog steeds als een hoogwaardig materiaal. In deze periode werd de ijzerproductie voornamelijk gecontroleerd door vooraanstaande bevolkingsgroepen en het ijzer werd enkel gebruikt voor het vervaardigen van bijzondere voorwerpen zoals wapens. Het is pas aan het begin van de ijzertijd, ca. 800 v.C., dat ijzer de overhand nam op het brons. IJzer had immers betere mechanische eigenschappen en ijzererts kende een grotere beschikbaarheid. De ijzerproductie nam een aanzienlijk grotere omvang aan en ijzer werd niet enkel meer gebruikt voor wapens en werktuigen, maar ook voor huishoudelijk gereedschap en bouwonderdelen (Joosten 2004, 19; Pleiner 2000, 20 en 268; Tylecote 1992, 47).

Het vroegste ijzer in Europa

De ontwikkeling van de ijzerproductie in Centraal- en West-Europa volgde een gelijkaardig patroon als deze in het oostmediterrane gebied en het Midden-Oosten, maar met enkele eeuwen vertraging. Er bestaan twee verschillende theorieën over de oorsprong van de ijzermetallurgie en diens verspreiding naar Europa. De eerste theorie stelt een oorsprong in het Midden-Oosten voor, de tweede theorie zet

het scenario van een autochtone ontwikkeling van de ijzerindustrie in Europa voorop. Hierbij wordt aangenomen dat de overvloedige aanwezigheid van goed en gemakkelijk beschikbaar ijzererts het mogelijk zou hebben gemaakt dat de technologie zich onafhankelijk heeft ontwikkeld in verschillende geografische gebieden. De productie van ijzer is technologisch gezien echter zeer moeilijk en vereist bijzondere condities in de ovens, wat de opvatting ondersteunt dat het proces slechts één keer uitgevonden werd in het Midden-Oosten. Het is moeilijk met zekerheid te stellen waar de ijzermetallurgie exact zijn oorsprong kende, maar Pleiner situeert deze in de regio van Oost-Anatolië, Noord-Syrië en Cyprus (Joosten 2004, 21-22; Pleiner 1980, 376; Pleiner 2000, 14).

Op basis van de vroegste vondsten zijn drie verschillende routes voorgesteld voor de verspreiding van de ijzermetallurgie vanuit Zuidwest-Azië naar Europa. De ijzermetallurgie zou West- en Centraal-Europa hebben bereikt vanuit Griekenland via de Balkan, of vanuit Griekenland via Italië en het noorden van de Balkan, of vanuit de Kaukasus via Zuid-Rusland naar de Karpaten (Fig. 3.1; Joosten 2004: 21; Pleiner 1980: 376, 2000: 23-29).

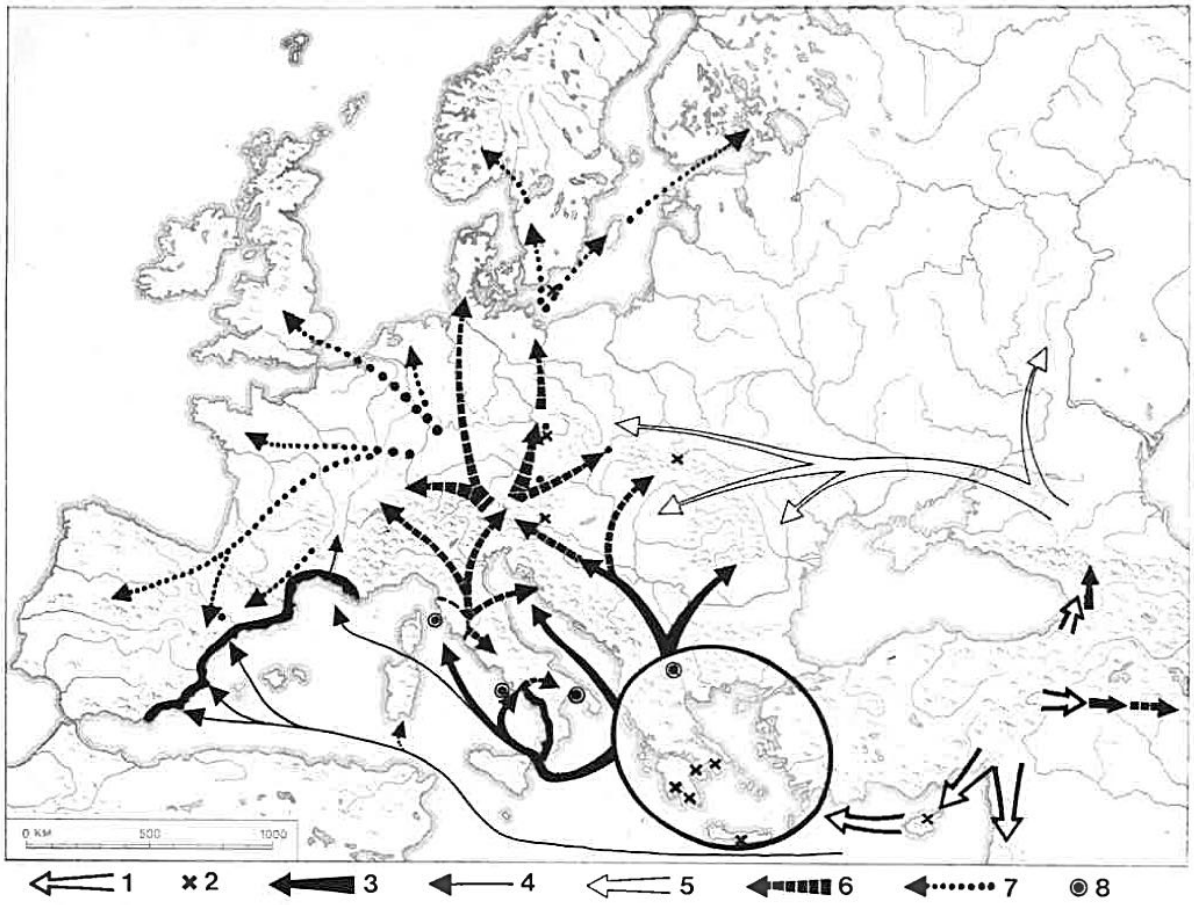


Fig. 3.1: De spreiding van ijzer in Europa. Verklaring: 1. 2de helft 2de millennium v.C. in Azië en het Oostmediterrane gebied; 2. Sporadische vondsten van ijzer voorwerpen; 3. de regio van Griekenland met de vroegste vondsten en de eerste spreidingsrichtingen; 4. de invloed van de Feniciërs; 5. Cimmeriaanse en Scytiaanse invloeden; 6. ijzer in Centraal-Europa en Italië in de late bronstijd en het begin van de ijzertijd; 7. de spreiding van ijzer naar het noorden en westen van Europa rond 500 v.C.; 8. belangrijke vroege metallurgische activiteit (Pleiner 1980, Fig. 11.2).

Vanaf de 15de tot de 8ste - 7de eeuw v.C. verspreidde de kennis van het ijzersmelten zich geleidelijk doorheen Europa vanuit het zuidoosten naar het noorden, noordwesten en westen. IJzeren voorwerpen worden occasioneel in Centraal- en zelfs Noord-Europese contexten uit het 2de millennium v.C. aangetroffen, maar vertonen uitheemse elementen en mogen bijgevolg geïnterpreteerd worden als importproducten vanuit de gebieden waar ijzer reeds geproduceerd werd. Tegen de 8ste eeuw v.C. verschenen ijzeren objecten echter steeds meer in West- en Centraal-Europa. Er zijn ook aanwijzingen dat in de 8ste eeuw enkele ijzerproductiesites actief waren in de regio tussen de Alpen en de Karpaten. Twee eeuwen later kwamen er enkele ijzerwerkplaatsen met eenvoudige open smeltovens voor in zowel landelijke als versterkte sites, die in de culturele sfeer van de late Hallstatt-periode geplaatst mogen worden. De Illyrianen, Venetianen, proto-Keltische volkeren en mogelijk ook andere gemeenschappen ontwikkelden geleidelijk aan de basis van hun eigen ijzerindustrie. Het nieuwe metaal verscheen in verschillende gebieden en niet enkel als een metaal voor wapens en andere artefacten, maar ook als redelijk grote massa's in de vorm van ijzerwolven. De ijzertechnologie werd verder uitgebreid naar de vervaardiging en het gebruik van staal. Staal is een legering van ijzer en koolstof (C). In tegenstelling tot smeedijzer kan staal uitgehard worden, wat het mogelijk maakt om brons te vervangen door ijzer voor de vervaardiging van wapens en gereedschap (Joosten 2004, 22; Pleiner 1980, 384; Pleiner 2000, 268).

De ijzertijd

De late *Hallstatt*-periode (ca. 800-450 v.C.) markeert het begin van de ijzertijd in Europa. IJzer werd vanaf deze periode veelvuldig geproduceerd en gebruikt als één van de voornaamste materialen voor wapens, werktuigen en structurele elementen en zou een impact krijgen op de gehele samenleving. Het zuiden van Europa, i.e. Griekenland en delen van Italië, kende sinds de 8ste eeuw v.C. al een volwaardige ijzer-producerende en -gebruikende samenleving. Centraal-Europa zal pas aan het einde van de *La Tène*-periode (ca. 450 v.C. – 1ste eeuw n.C.) de zuidelijke regionen hierin volgen. In deze ontwikkelingen zouden de Kelten een belangrijke rol hebben gespeeld.

De Keltische gebieden worden doorgaans gezien als uiterst belangrijk en progressief. Ze omvatten regio's die een vooraanstaande plaats zullen innemen in verdere technologische ontwikkelingen. Bewijs voor de Keltische ijzerproductie is echter relatief zeldzaam tot aan de laatste fase van de *La Tène*-periode. Toch zijn er twee zaken die wijzen op de enorme groei van de Keltische ijzerproductie in de voorgaande periode. Voor het eerst vertoonde de materiële cultuur van Centraal-Europa grote aantallen ijzeren voorwerpen. Geschreven bronnen vermelden regelmatig het vakmanschap van de Keltische metaalbewerkers en de aanzienlijke kwantiteit aan wapens die door hen vervaardigd werden. Het tweede indirecte bewijs zijn de vele deposities van zware dubbel-gepunte ijzeren halffabricaten met een gewicht van 5-7 kg. Er zijn ca. 140 sites gekend met in totaal ongeveer 700 stukken. De meerderheid van deze bewaarplaatsen is ongedateerd, maar de vroegste exemplaren komen uit de late *Hallstatt*- en vroege *La Tène*-periode, in Mont Lassois in Oost-Frankrijk en in Hueneburg in Zuidwest-Duitsland. De geografische spreiding van de meeste van deze verborgen verzamelingen komt overeen met de veronderstelde bakermat van de oudste Keltische volkeren in Zwitserland, Oost-Frankrijk en de zuidelijke gebieden van Duitsland. Waarom deze halffabricaten vervaardigd en begraven werden, is niet duidelijk, maar ze vertegenwoordigen een grote hoeveelheid gesmolten ijzer dat uit circulatie werd gehaald. In de latere *La Tène*-periode verscheen er ook een

ander type halffabricaat die valutabaren genoemd worden. Ze werden door de Kelten in Zuid-Brittannië als ruilmiddel gebruikt, als aanvulling op munten. Ze wijzen op een toename van de ijzerproductie, waarvan een deel werd voorbehouden voor andere dan functionele doeleinden. IJzer begon zo duidelijk een belangrijke rol te spelen in de vroege economische systemen. De groeiende ijzerproductie zou uiteindelijk de Keltische beschavingen uit de late en finale fases van de *La Tène*-periode voorzien van een verscheidenheid aan ijzeren voorwerpen, landbouwwerktuigen, bewapening, structurele voorwerpen en versieringen die een invloed hadden op alle aspecten van het economische en huishoudelijk leven (Pleiner 2000, 269-270). Initieel werd ijzer slechts op een kleine schaal gesmolten door enkele mogelijk welbekende metaalbewerkers in opdracht van de leider, de aristocratie of belangrijkere leden van de samenleving. Toen de vraag naar ijzer toenam (i.e. na de 8ste eeuw v.C. in Zuid- en na de 3de-2de eeuw v.C. in Centraal-Europa), werd de nabijheid van geschikte en overvloedige grondstoffen noodzakelijk om de productie doeltreffend te maken. De metallurgische activiteiten gingen zich bijgevolg in bepaalde regio's concentreren. De ijzermaker en mogelijk ook zijn clan vormden een gespecialiseerde groep binnen de samenleving. Het productieproces vond plaats in of op de rand van de bewoonde agrarische zones van de nederzetting.

Het vormingsproces van de verschillende Europese ijzerproductieregio's is nog niet helemaal duidelijk. In geschreven bronnen kunnen verwijzingen gevonden worden naar het begin van enkele belangrijke gebieden in Europa. Zo wordt over de ijzerproductie van de Keltische volkeren in Gallië geschreven, maar ook over oud *Noricum* in de Alpen dat gekend was voor zijn staalproductie, en de *Cotini*, een Keltisch-sprekend volk verder naar het oosten, mogelijk in het noorden van Slovakije (Pleiner 2000, 270). Er bestaat eveneens archeologische bewijs. Eén van de oudste archeologisch geregistreerde regio's in Europa bevond zich in het oude *Colchis*, in het westen van Georgië. Hier werden vier clusters van smeltinstallaties opgegraven, die gedateerd werden rond 1000 v.C. Het gaat om kom-ovens die mogelijk stukken ijzerwolf van 2,5 kg produceerden, waarvan er voorbeelden in Slovakije en de Balkan zijn opgegraven (Joosten 2004, 22; Pleiner 2000, 270). Een vooraanstaande ijzerproductie-regio tijdens de ijzertijd was het eiland Elba en de aanpalende kust van Toscane (Populonia, Follonica baai) waar enorme hoeveelheden ijzerslakken werden aangetroffen. De schattingen van de ijzer-*output* lopen uiteen van ca. 300 000-500 000 ton tot een bescheiden 1400 ton. De productie begon hier mogelijk in de 4de eeuw v.C. en maakte gebruik van het hematiet-erts uit Elba. In de baai van Follonica werden meer dan 20 productiesites opgegraven, waarbij een vroege vorm van een put-oven uit de 3de-2de eeuw werd blootgelegd. De latere ovenstructuren werden mogelijk aangepast om de ijzerslak te kunnen aftappen. Een uitzonderlijke ijzerproductiesite is deze te Populonia, gelegen in de baai van Baratti (Joosten 2004, 22; Pleiner 2000, 271). Andere regio's waar sporen van late *La Tène* of late ijzertijd ijzersmelten werden aangetroffen zijn de Montagne Noire in Zuid-Frankrijk, de Yonne vallei meer ten noorden, de Vaud in Zwitserland, het Siegerland in West-Duitsland, de regio rond Kelheim in Bavaria, de Weald of Sussex in Engeland, het Burgenland in Oostenrijk en de Holy Cross Mountains in Polen. Andere resten van ijzerproductie, met een minder opvallende concentratie, zijn ook gekend in west-centraal Bohemen (Tsjechië) en de oostelijke Karpaten (Pleiner 2000, 270-271).

De Romeinse periode

In de 1ste eeuw n. C. waren de Kelten verdwenen uit West- en Centraal-Europa. De Germaanse volkeren hadden hun gebied veroverd vanuit het noorden en de Romeinen bewogen zich voort vanuit het

zuiden. De Donau en de Rijn vormden in grote lijnen de grens tussen de twee gebieden. Opmerkelijk is dat het keizerlijk Rome zich tot buiten de grenzen van Italië richtte om zijn behoefte aan ijzer te kunnen beantwoorden. In de provincies kende de grootschalige productie een bloei van de 1ste eeuw v.C. tot de 3de eeuw n.C. In de westelijke provincies combineerden de Romeinse ijzersmelters hun kennis met deze van de Kelten. Autoriteiten zoals de belastingambtenaren (*procuratores ferrariarum* in Carinthia en Gallie), pachters (*conductores)* of zelfs militaire detacheringen (*classis britannica* in de Weald of Sussex) speelden een belangrijke rol in de controle van deze ijzernijverheden. Met uitzondering van wat ijzerfabricage in kleine economische eenheden concentreerde de meerderheid van de Romeinse provinciale ijzerproductie zich in gespecialiseerde industriële districten, die bloeiden tot het midden van de 3de eeuw n.C. Het grootste district situeerde zich in Zuid-Gallië, Martys en de omgeving in de Montagne Noire. Een andere belangrijke regio was de Yonne vallei. Verder naar het zuidwesten en zuidoosten waren er enkele productiedistricten van middelmatige grootte in de Périgord en rond Bourges, en in de Morvan-Auxois op het grondgebied van de Haedui. De regio van Namen en de Britse districten in het westen, i.e. de Weald of Sussex en de Forest of Dean, kunnen ook geclassificeerd worden als grotere productiecomplexen. In de Alpen bevond er zich een belangrijke ijzermakerij in het Hüttenberg-gebied van Carinthia, waar de traditie van het *Ferrum Noricum* werd verder gezet. Er waren ook enkele centra in Dalmatia (Kroatië) en ijzer werd ook op een kleinere schaal gesmolten op de Jura heuvelrug in Zwitserland, waar in de Vaud ijzerwerkplaatsen zijn opgegraven. De ijzerproductie op Elba nam ogenschijnlijk af, maar de Romeinse slakhopen in verschillende baaien moeten nog onderzocht worden (Pleiner 2000, 271-272; Joosten 2004, 25).

De Romeinse beschaving gebruikte enorme hoeveelheden ijzer, bijvoorbeeld voor het vervaardigen van structurele bouwelementen en nagels. De nadruk lag schijnbaar eerder op het kwantitatieve aspect dan op de kwaliteit van het ijzer. De metallurgische activiteit was intens en de Romeinse ijzerproductie kan gezien worden als één van de vroegste ondernemingen die een waarlijke industrie evenaart. Al konden ze sterk variëren van regio tot regio, de smeltovens waren stabiele en doeltreffende installaties van grote omvang, aangedreven met blaasbalgen, en met schachten die meerdere malen hersteld konden worden. Kenmerkend voor de productiegebieden in de Romeinse provincies is het gebruik van de aftapoven. Deze laagoven had een ondiepe haard, maar was voorzien van een uitgang waarlangs het slakkenmateriaal uit de oven kon worden verwijderd tijdens het productieproces. Dit oventype kende een rendement van tussen 30% en 50%. Het is zeer waarschijnlijk dat dit oventype gebaseerd is op de kopermetallurgie, waarbij aftapovens al gebruikt werden sinds de tweede helft van het 2de millennium v.C. De aftapoven verschijnt overigens al in de late ijzertijd in Europa. Er werden enkele voorbeelden opgegraven in Eisenbergen, Duitsland (Joosten 2004, 26; Pleiner 2000, 272).

Langs de andere kant van de *limes*, de grens van het Romeinse Rijk, slaagden de Keltische volkeren van de niet-Romeinse regio's erin om veel van hun verwezenlijkingen in de materiële cultuur over te dragen op de Germaanse nieuwkomers. In bepaalde gebieden zoals de Bohemen profiteerde de ijzerproductie van de Keltische tradities. In het begin produceerden de Germaanse volkeren ijzer op kleine schaal, maar vrijwel overal. Ze maakten gebruik van zelfs de kleinste bronnen van ijzererts. Deze bescheiden activiteiten richtten zich tot het smelten van een hoeveelheid ijzer dat aan de noden van slechts een beperkte regio, i.e. enkel een paar nabijgelegen nederzettingen, kon beantwoorden. Kenmerkend voor de vroegste ijzerproductie tijdens de 1ste eeuw zijn de ijzersmelterijen met verdiepte vloer en uitgerust met kleine identieke putovens. Het restafval wijst erop dat deze ovens schijnbaar

meer dan één keer gebruikt werden. Concentraties van deze vroegste ijzerproductiesites met ingegraven ovens kwamen voor in de Bohemen en Moravia (Tsjechië), Thuringia (Duitsland) en Zuid-Polen. Deze vertegenwoordigen geen grote productiegebieden, maar eerder lokale activiteiten. Aan het begin van de Romeinse periode verschenen deze ingegraven ovens ook in Scandinavië, Engeland en Frankrijk (Joosten 2004, 25; Pleiner 2000, 272).

Door de groeiende vraag werd ijzer geleidelijk aan ook op grote schaal geproduceerd. Een supra-regionale productie ontwikkelde zich in regio's waar gunstige grondstoffen, i.e. erts, brandstof en bouwmaterialen, beschikbaar waren. Enorme hoeveelheden ijzer werden vervaardigd in openlucht smelterijen met vrijstaande putovens. De openlucht ijzersmelterijen in het archeologisch bestand dateren uit de 2de tot de 4de eeuw en worden gekarakteriseerd door soms grote clusters van ovenresten en groepen van ovenhaarden met daarin achtergelaten ovenslakken. De ovens werden waarschijnlijk maar één keer gebruikt en de volgende installatie werd onmiddellijk naast de vorige geplaatst. Het aantal resten van deze individuele smeltingen varieert tussen 20 tot 300 eenheden op bepaalde locaties, en van 1000 tot tientallen duizenden in de belangrijkste regio's (Joosten 2004, 25; Pleiner 2000, 272-273). Omvangrijke en gebundelde ijzerproductiegebieden konden worden geïdentificeerd in Schleswig Holstein in Duitsland, Jutland in Denemarken en Silesia en de Holy Cross Mountains in Polen. In Nederland bestond er een grootschalige productie op de Germaanse site te Heeten. De hoeveelheid aan putovenslakken, met een gemiddeld gewicht tussen 100 en 300 kg, die werden opgegraven op deze sites varieert tussen 54 en 6000 exemplaren. Het belangrijkste gebied voor de Germaanse ijzerproductie situeerde zich in de Holy Cross Mountains in centraal Polen. Hier werden een 6000-tal sites opgegraven. Elke site bestaat uit een cluster van enkele tientallen of zelfs honderd putovens. Naar schatting zou het gebied van ca. 300 km^2 de resten van ongeveer een half miljoen putovens omvatten. De productie was strak georganiseerd: de ovenslakken vormden lijnen in twee of drie clusters. De opbrengst van de Germaanse productie in dit gebergte wordt geschat op 8000 ton ijzer (Joosten 2004, 25-26; Pleiner 2000, 274). De ijzerproductie in de niet-Romeinse gebieden werd dus gedomineerd door het gebruik van de put-oven. Het was een uitstekend apparaat, gemakkelijk aan te passen naar verschillende omstandigheden aan de hand van de grootte, inrichting en wijze van bediening (Pleiner 2000, 274). Tijdens de laat-Romeinse periode (3-4de eeuw n.C.) maakte een ander type van de laagoven zijn intrede in de regio: de aftapoven. Dit oventype was al langer in gebruik in belangrijke productiegebieden in de Romeinse provincies. Langs de rand van Centraal-Europa zijn er aftapovens uit de 6de-7de eeuw n.C. opgegraven in Bellaires en Boécourt in Zwitserland. In Lodenice in de Bohemen is er een volledig bewaarde aftap-oven uit de 4de eeuw n.C. blootgelegd. In Salzgitter-Lobmachtersen, Duitsland, zijn er installaties uit de 2de eeuw n.C. gevonden. Aftapovens uit de late ijzertijd zijn opgegraven in Eisenbergen, Duitsland (Joosten 2004, 26).

Tijdens de laatste fase van de Romeinse periode kende Scandinavië enkele hoogtepunten in de productie van ijzer, in Småland, Gästrikland en in het bijzonder Jämtland in Zweden en in Noord-Trøndelag in Noorwegen. Tijdens de 3de-5de eeuw n.C. werden hier mogelijk tot enkele duizenden tonnen ijzer geproduceerd. Ondanks het feit dat de putoven zijn intrede had gedaan, was het noorden vanouds een gebied waar de eenvoudige komoven gebruikt werd. Dit was een open haard, trechter of ketelvormige constructie, bedekt met plavuizen en aangeblazen met blaasbalgen. Ondanks de eerder beperkte capaciteit van dit oventype kende de komoven een zeer lang bestaan in Scandinavië, tot na de middeleeuwen. De ijzerproductie in deze noordelijke gebieden lijkt in bepaalde regio's erg

veranderlijk te geweest en over de organisatie ervan bestaat er nog veel discussie (Joosten 2004, 27; Pleiner 2000, 274-275).

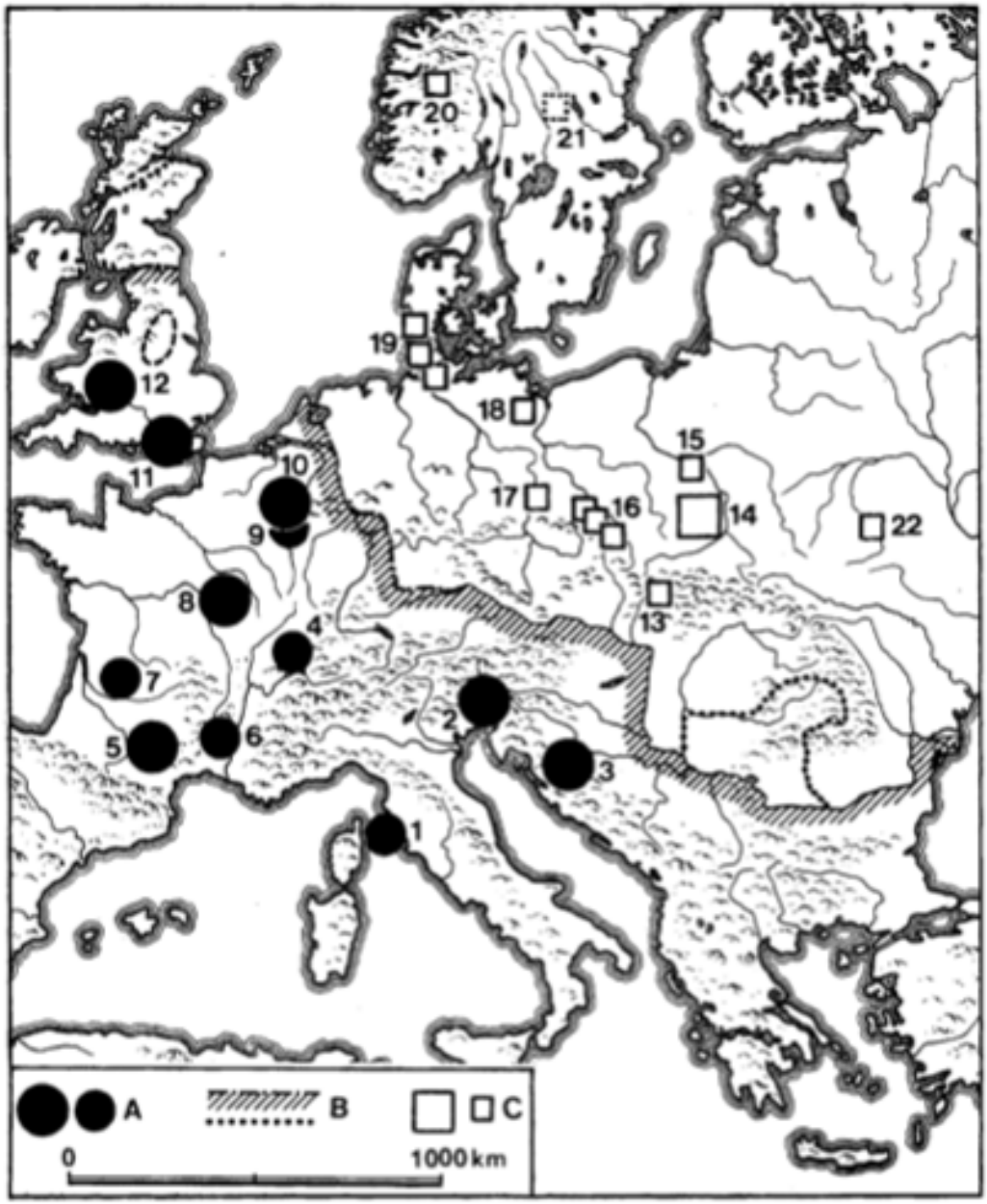


Fig. 3.2: Voornaamste ijzerproductie districten tijdens de Romeinse periode. Romeinse centra: 1. Elba, Populonia; 2. Noricum; 3. Dalmatia, Japra en Sana valleien; 4. Vaud; 5. Montagne Noire; 6. Hérault; 7. Périgord; 8. Yonne; 9. Meurthe-et-Moselle; 10. Namen – Dinant; 11. Weald of Sussex; 12. Forest of Dean. Barbaarse productieregio's: 13. Varín; 14. Holy-Cross Mountains; 15. Masovia; 16. Silezische smeltagglomeraties; 17. Lusatia; 18. West Mecklenburg; 19. Schleswig-Holstein en West Jutland; 20. Trøndelag; 21. Jämtland; 22. Volynhia en Zhitomir regio. Symbolen: A. Romeinse, Gallo-Romeinse en Romeins-Britse districten; B. de Romeinse militaire grens (1ste mill. n.C.); C. Barbaarse ijzerproductie regio's (Pleiner 2000: 42, Fig. 12).

De vroege middeleeuwen

De aanzienlijke toename van vooruitstrevende regio's in Europa gaf de mogelijkheid tot de ontwikkeling van de allereerste Europese ijzerindustrie. Dit werd danig ondermijnd door de val van het Romeinse Rijk en zijn stedelijke beschaving, maar de vraag naar ijzer bleef bestaan, zij het op een lager niveau. Het systeem van de algemene productie werd gedecentraliseerd in kleinere werkingen en de grote ijzerproductiesites verdwenen. Enkele van de belangrijke productiegebieden zoals de Montagne Noire en andere districten in Gallië en Zwitserland en de Weald in het Verenigd Koninkrijk kenden al redelijk vroeg een terugval en kwamen tot een einde. Andere regio's zoals Noricum in Oostenrijk en de Forest of Dean in het Verenigd Koninkrijk zetten hun metallurgische activiteiten wel verder tijdens de 5de-7de eeuw. In Yonne en Clérimois in Frankrijk werden de grootschalige ijzerindustrieën vervangen door kleinere bedrijvigheden (Joosten 2004, 27; Pleiner 2000, 275). Ook de Germaanse ijzerproductie kende een terugval. Putovens domineerden lang de ijzermetallurgie buiten de grenzen van het Romeinse rijk, maar de laatste resten van putovens dateren uit de 6de eeuw n.C., met uitzondering van enkele afzonderlijke 10de-11de-eeuwse vondsten uit West-Moravië. Er zijn vrijwel geen archeologische resten van ijzerproductie uit de 6de en 7de eeuw n.C. gevonden, hoewel er mogelijk toch een kleinschalige productie bleef bestaan in deze periode (Joosten 2004, 27; Pleiner 2000, 275).

IJzer was echter nog steeds nodig, in het bijzonder voor de onophoudelijke oorlogsvoering. Tijdens de vroege middeleeuwen bestond er een omvangrijk handelsnetwerk doorheen heel Europa en ijzer werd verhandeld op grote schaal (Joosten 2004, 19). Vanaf minstens de 8ste eeuw kende de ijzerproductie in Europa een heropleving. Voor de verdere ontwikkeling van de ijzerindustrie dienen we even de aandacht te vestigen op de Slavische en andere volkeren die Oost- en Centraal-Europa koloniseerden. Hun ijzermetallurgie dient niet gezien te worden als de aanzet van de heropleving van de ijzerproductie, maar in de vroegste periode na de 6de en 7de eeuw implementeerden de Slavische volkeren bepaalde vernieuwingen in de ovenconstructie en verwierven ze zeer snel een aanzienlijk hoogtechnologisch niveau. In de 8ste eeuw introduceerden de Slavische volkeren een speciaal oventype, de *Zelechovice*-oven. Deze is een ondergrondse installatie met een perfecte thermische isolatie, dewelke ook geschikt was voor de directe productie van staal (Joosten 2004, 27; Pleiner 2000, 277). Ook in de niet-Slavische regionen kende de ijzerproductie een dynamische heropleving. Geschreven bronnen uit de 9de-11de eeuw vermelden transacties waarbij ijzerertsmijnen betrokken waren. De archeologische vondsten wijzen op eerder primitieve methoden van ijzerertsontginningen. IJzer was opnieuw het onderwerp van eerbetuigingen en taxaties die doorvloeiden naar de schatkisten van de koningen en landeigenaars (Pleiner 2000, 277-278). Het ijzer werd nog steeds geproduceerd in aftapovens, bijvoorbeeld in Moravië en de Bohemen, in Hongarije, in het Burgenland in Oostenrijk, in Normandie, Dauphine, Ariège en Morvan in Frankrijk, en in Westphalia, Westerwald, Lahn-Dill en het Sauerland in Duitsland. In Nederland bestond er tijdens de vroege middeleeuwen een omvangrijke ijzerindustrie in de Veluwe en het Montferland, waarbij ook gebruik gemaakt werd van aftapovens (Joosten 2004, 27). Ook eenvoudige open en ondiepe haarden bleven in gebruik of werden opnieuw geïntroduceerd voor het smelten van het ijzererts, en dat in vrijwel alle productiegebieden (Pleiner 2000, 281). De werkplaatsen voor het ijzersmelten situeerden zich voornamelijk op afgelegen sites, in bossen (dewelke geleidelijk aan uitgeput raakten) en vaak op hellingen of boven op heuvels (Pleiner 2000, 281).

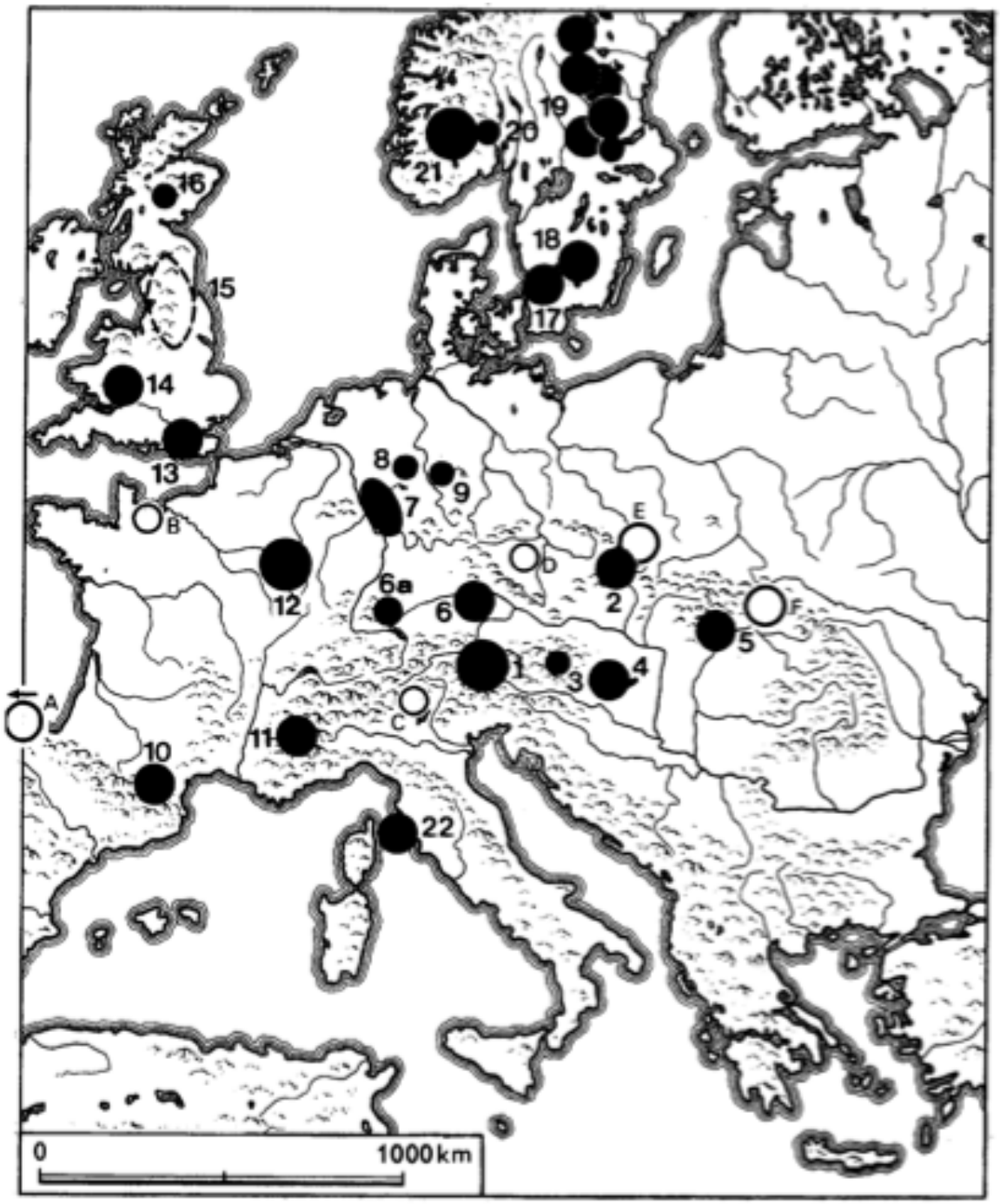


Fig. 3.3: Voornaamste pre-industriële ijzerproductie districten in Europa tijdens de vroege Middeleeuwen. 1. Styria, vanaf 10de eeuw; 2. West en Noord Moravië; 3. Hirschwang-Prein, 11de-12de eeuw; 3. Burgenland en West Hogarije; 4. Bükk, 11de-12de eeuw; 6. Hoger Palatinate (Oberpfalz); 6a. Schwäbische Alb; 7. Westerwald, Lahn-Dill, Sigerland, Märkizisch Sauerland, 8ste-13de eeuw; 8. Wietze; 9. Harz; 10. Pyreneeën (Arièges); 11. Westelijk Alpen (Allevard); 12. Bourgogne en Champagne; 13. Weald of Sussex, 7de-13de eeuw; 14. Forest of Dean; 15. Jurrasic Ridge sites in Engeland; 16. Rannoch, Schotland; 17. Halland, Zweden; 18. Skåne; 19. Centraal zweedse districten (Norberg, Jämtland, Dalarna etc.) en nabijgelegen oostelijk Trøndelag in Noorwegen; 20. Godbrandsdalen; 21. Hardangervidda, Waldres; 20. Elba onder heerschap van Pisa, 13de eeuw en later. Middeleeuwse ijzerproductie regio's die voornamelijk gekkend zijn van geschreven bronnen (witte symbolen): A. Spaans ijzer van het Baskenland; B. Normandië; C. Italiaans Alpen regio (Brescia, Bergamo etc.); D. Boheemse centra op basis van Ordoviciaanse ertsafzettingen; E. Hoge Silesia; F. Slovenské Rudohorie (Hongaars ijzer) (Pleiner 2000:49, Fig. 13).

De middeleeuwen tot heden

De aftapoven werd nog steeds gebruikt in de late middeleeuwen, maar in de 12de eeuw ontwikkelde men een nieuw oventype, de hoogoven, waarin vloeibaar ijzer geproduceerd werd. De 11de tot 14de eeuw is gekend als de overgangsfase in Europa. Voor zowel het (pre)historische productieproces als het indirecte proces in de hoogoven zijn hoge temperaturen en reducerende condities nodig in de oven. In de hoogoven worden deze opgeschroefd door het gebruik van blaasbalgen op waterkracht. Vanaf het midden van de 18de eeuw werden *cokes*, een product van thermolyse van steenkool, gebruikt als brandstof. Deze hadden meer kracht en konden een grotere hoeveelheid erts dragen. Steenkool was al gekend in de Romeinse periode, maar dit bevat zwavel, wat nefast is voor de eigenschappen van het ijzermetaal. Pas na de uitvinding van *cokes*, ontgaste steenkool, kon dit gebruikt worden in de ijzerproductie (Joosten 2004, 19, 27; Pleiner 2000, 283).

De oudste resten van hoogovens in West-Europa zouden zijn gevonden in Metzingen, in de Schwäbische Alb in Duitsland, en dateren uit de 11de-11/12de eeuw. Ook in het Markische Sauerland werden de resten van twee hoogovens opgegraven, mogelijk te dateren in de 11/12de eeuw. In Zweden werden de oudste resten van een hoogoven blootgelegd in Lapphyttan, uit de 14de eeuw. De oudste gekende hoogoven in Nederland dateert uit de 17de eeuw (Joosten 2004, 27).

3.1.2 België

In België kende de ijzerindustrie een rijk verleden. De steenkoolindustrie in Wallonië en Limburg uit de 19de en 20ste eeuw is ons wel gekend, maar weinigen weten dat de ijzerindustrie deze van de steenkool overtrof in het aantal ertsafzettingen, de hoeveelheid mijnen, de ontgonnen volumes, het termijn en de betrokken gebieden.

Wallonië

Wallonië is bijzonder rijk aan ijzererts. Denayer e. a. (2011) registreerden ca. 3000 voorkomens en winningsgebieden op basis van historische bronnen, mijnkaarten, geologische studies en toponymie. Het meeste ijzererts werd gemijnd sinds de oudheid. In de *De Bello Gallico* (58-50 v.C.) vermeldt Iulius Caesar de mijnbouwkundige vaardigheden van de Nerviërs en de Eburonen. Tijdens de Romeinse overheersing zou de landstreek Entre-Sambre-et-Meuse één van de meest belangrijke centra voor de mijn- en ijzerindustrie in West Europa zijn geweest (Denayer 2016, 39). In de Entre-Sambre-et-Meuse, net als in de valleien van Ourthe, de Lesse en de Viroin, tot ver langs de Rijn en de Gaume, zijn honderden sites aangetroffen met ophopingen van ijzerslakken. Deze worden de "*crayats des Sarrasins*" genoemd. "*Crayat*" verwijst in het Waals naar iets verbrand, zwart geblakerd of gesmolten. De term *Sarrasin* verwijst naar iets heidens, of oud, en benoemt daarbij alles dat bestaat sinds lang vervlogen tijden, te oud voor het collectieve geheugen. In de 19de eeuw begonnen archeologen zich te interesseren in deze "*crayatten*", toen de ijzerwerkers de gewoonte creëerden om de slakken te verzamelen en deze in hun ovens opnieuw te smelten. Deze slakhopen werden doorgaans aangetroffen in de nabijheid van oude smeltovens en daarbij ook de ertsafzettingen. Sommige van deze hopen waren enorm, zoals deze van Boussu-en-Fagne, nabij Couvin, met een omvang van 8000

m^3, of deze van Vireux-Walleran in de Maasvallei in de nabijheid van Givet, die 48 750 m^3 bereikte. De 19de-eeuwse auteurs schatten dat 1 000 000 ton oude slakken hersmolten werd in de moderne hoogovens tussen 1830 en 1860 (Denayer e.a. 2011, 12-13; Pleiner 2000, 44). Op diverse locaties in de regio Entre-Sambre-et-Meuse zijn ook "Gallische" laagovens aangetroffen. De meeste van deze werden in de 1ste eeuw n.C. (*La Tène* III-IIIb) gedateerd. Zo wordt verondersteld dat ook tijdens de pre-Romeinse periode de Entre-Sambre-et-Meuse een aanzienlijke mijnregio voor ijzer in West-Europa is geweest (Denayer e.a. 2011, 13). In Wallonië kende de ijzerindustrie een zekere vorm van industrialisering tijdens de Romeinse periode: blaasbalgen werden gebruikt, waardoor de luchttoevoer in de ovens niet meer afhankelijk was van de wind en in plaats van droog hout werd houtskool gebruikt als brandstof. De invasies door de Franken en de val van het Romeinse rijk veroorzaakten echter ook in deze regio een duidelijke vertraging in de ijzerindustrie. De ijzerproductie werd een kleinschalige en lokale onderneming. De industriële bedrijvigheden van de Romeinen maakten plaats voor mijnactiviteiten ondernomen door families, waarbij de mijnwerkers eenvoudige boeren waren die in de zomer op het veld werkten en in de winter in de mijnen (Denayer 2011, 14).

Aan het begin van de middeleeuwen kende de ijzerindustrie een zekere heropleving onder invloed van de abdijen, die bossen, mijnen en werkkracht bezaten. De methoden kenden echter geen grote veranderingen, behalve enkele verbeteringen van de smeltoven. Tot aan de 11de eeuw namen deze beetje bij beetje toe in hoogte, tot ca. 2,5 m voor een diameter van 50 cm. De meeste ovens bleven deels begraven om het verlies van warmte te beperken en om de kolen en ertsen langs boven te kunnen laden zonder al te veel moeilijkheden (Denayer 2011, 14). Net zoals de rest van Europa kenden onze gebieden een snelle ontwikkeling van de steden en de bevolking, wat leidde tot een hoge vraag naar metaal en een aanzienlijke spreiding van het gebruik ervan. Ook de kruisvaarders van de 11de en 12de eeuw waren grote gebruikers van ijzer voor hun wapentuig. Deze toename in gebruik vormde een stimulans om meer en sneller ijzer te produceren. Bijgevolg werden de ovens groter en namen gelijklopend de hoeveelheden van ijzer geproduceerd per haard toe. Om op deze toename in omvang van de ovens en de nodige manuele kracht te kunnen inspelen, waren de ijzersmelters en smeders genoodzaakt om andere methoden te zoeken. Zo werd geleidelijk aan gebruik gemaakt van hydraulische energie van rivieren. De blaasbalgen en de hamers werden geactiveerd door een as verbonden aan een waterrad, aangedreven door de stroom van de rivier. Een gevolg van deze technische vernieuwing was te merken in het landschap en de geografie: de smeltovens werden van de hoogtes in de nabijheid van de mijnen naar de valleien verplaatst. De bedrijvigheden werden sedentair en de ovens werden gebouwd met meer duurzame materialen, zoals vuurvaste stenen. De hydraulische blaasbalgen maakten het mogelijk om hogere temperaturen te bereiken in de ovens, en zo de proportie aan vloeibaar metaal te vermeerderen. Onderhevig aan de koolstof vloeide dit metaal in de bodem van de oven als een soort magma, stroperiger dan het zuivere ijzer. Wanneer het afgekoeld is, heeft dit ijzer een zeer goede hardheid maar is het zeer kwetsbaar voor impact. Dit gietijzer was bijgevolg niet geschikt voor de klassieke toepassingen zoals zuiver ijzer, maar wanneer het werd verhit in een kleine haard om de rest van de koolstof te oxideren, werd het getransformeerd tot een zacht ijzer, buigzaam en geschikt voor het smeden (Denayer 2011, 14-15).

De productie van gietijzer werd zeer snel populair omdat het gemakkelijker was dan dat van ruwijzer. Het kon doorlopend geproduceerd worden, zonder dat het vuur gestopt moest worden, waardoor minder houtskool gebruikt werd. Het gietijzer diende wel gezuiverd te worden voordat het verder bewerkt en gesmeed kon worden. Dit nieuwe proces is gekend als de indirecte methode, en de

zuiveringstechniek wordt de "Waalse methode" genoemd omdat het in Wallonië ontwikkeld zou zijn geweest (Denayer 2011, 15). Legenden vertellen inderdaad dat het gietijzer in Luik uitgevonden werd aan het begin van de 14de eeuw. Hier zou ook de hoogoven uitgevonden zijn. Vandaag de dag is echter geweten dat Zweden al in de 12de eeuw gietijzer gebruikte, én dat de moderne hoogoven in Engeland uitgedacht werd door A. Darby, die in 1709 als eerste het gebruik van *cokes* introduceerde ter vervanging van houtskool (Denayer 2016, 39-41). Tijdens de 13de-15de eeuw werden de smeltovens geperfectioneerd: ze werden bovengronds gebouwd en werden hoger en hoger (3-5m). Ze werden nu vervaardigd uit baksteen, met een bekleding van de binnenwand met vuurvast rotsmateriaal. Een welgekend voorbeeld was de smeltoven in Hoyoux, waar Duitse en Engelse ijzersmeden naar zouden zijn gaan kijken omwille van zijn goede reputatie (Denayer 2011, 16).

De streek rond Chimay, de Entre-Sambre-et-Meuse, was ook in de middeleeuwen het meest industriële centrum van de wereld, omdat alle ingrediënten voorradig waren: ijzererts, brandstof (bossen) en waterkracht voor motorische beweging (Burke 1990, 39). In 1821 bouwde John Cockerill in Seraing bij Luik de eerste Belgische hoogoven die met *cokes* gestookt werd, waarna de staalindustrie zich verplaatste naar de gebieden waar steenkool gewonnen werd. Tot in 1870 werd vooral ijzererts uit *gossans* gebruikt. Een *gossan* is een "ijzeren hoed" of een oxidatielichaam dat door verwering boven de grondwaterspiegel ontstaat uit aders van sulfide ertsen. De overvloedige aanwezigheid van die ertsen is een belangrijke factor geweest voor de moderne industriële ontwikkeling van België. Tot 1865 importeerde België geen enkele gram ijzererts, maar exporteerde dit zelfs naar Nederland en Duitsland (Burke 1990, 39; Denayer e.a. 2011, 8). Rond 1860 slaagde men er zelfs in om de fosforarme sedimentaire oölietische hematietertsen te verwerken. Van dit ertstype kwamen grote voorraden voor in de vallei van de Maas tussen Namen en Huy. Het gebruik van hematieterts leidde tot een absoluut topjaar van de Belgische ijzermijnbouw in 1864: meer dan 1 miljoen ton erts werd geproduceerd door een industrie met 10 000 werknemers (Burke 1990, 39). Toen in 1878 echter een procedure werd uitgevonden voor de verwerking van fosforrijke ijzerertsen konden de veel grotere en rijkere "*minette*"-ertsen van Lorraine (Frankrijk) en het Groothertogdom Luxemburg in productie genomen worden. De staalindustrie richtte zich bijgevolg op het ijzererts uit het buitenland: in de jaren 1930 vormde het aandeel van de Belgische ijzerertsen slechts 2% van de behoefte van de staalindustrie. Zo kwam er na vele eeuwen een einde aan de bloei van de Waalse ijzerindustrie (Burke 1990, 39).

Vlaanderen

De bovenstaande paragrafen vertellen het verhaal van Wallonië, een regio waar ijzerwinning en -productie mogelijk een aanzienlijke plaats innamen in West-Europa vanaf de Romeinse periode, en mogelijk zelfs vroeger, tot aan het einde van de 19de eeuw. Maar de situatie in Vlaanderen is verschillend. Terwijl de Romeinse ijzerindustrie in het gebied tussen de Samber en de Maas sinds het laatste kwart van de 19de eeuw toch wel wat aandacht krijgt, richten Belgische onderzoekers zich pas op het einde van de jaren 60 op het Vlaamse deel van België, waarbij men hoopte ijzerproductie op lokale schaal te kunnen aantonen (Polfer 2000, 67). De omvang van deze onderzoeken blijft echter eerder beperkt. Toch zouden op de zandige vlakten van Noord-België in de meeste Romeinse nederzettingen restanten van laagovens gevonden zijn en de vele slakhopen in de regio rond Groenendaal wijzen op het feit dat in het Zoniënwoud metallurgische activiteiten plaatsvonden. Deze werden aanvankelijk gedateerd in de Romeinse periode en de ijzertijd, maar ^{14}C-dateringen hebben

een vroegmiddeleeuwse datering vastgesteld (Mees & Langohr 2020, 2). De Laet en Van Doorselaer onderzochten eind jaren 60 ijzerwinning in het westen van België tijdens de Romeinse periode en vermeldden in dit kader restanten van ijzerproductie, met name potovenscherven en/of slakken in onder andere Temse-Luiseek, de *vicus* van Elewijt, Huise-Loser, Destelbergen en Belsele. Tegelijkertijd gaven zij aan dat slak en ruwe scherven van potovens vaak gevonden werden, maar slechts uitzonderlijk werden vermeld, hetgeen ons meteen confronteert met een hiaat in de dataset van gekende productiesites. Uit hun onderzoek bleek dat verschillende aangetroffen elementen van laagovens wezen op eenzelfde ovenstructuur als deze voor andere delen in het Romeinse Rijk en buiten het Rijk in Centraal- en Noord-Europa. Ertsen werden hoogstwaarschijnlijk lokaal gewonnen, vermits invoer uit de ertsrijke Waalse gebieden economisch te duur zou zijn vanwege hoge transportkosten, terwijl de invoer van afgewerkte producten uit deze gebieden meer faciliteiten bood. Voorbeelden van lokale ertswinning zouden gekend zijn te Belsele en te Waasmunster-Pontrave. De ontginningsmogelijkheden waren evenwel niet van die grootte dat industriële uitbating mogelijk was. Men gaat in de streek dan ook uit van artisanale ijzerwinning in de Romeinse periode (De Laet & Van Doorselaer 1969).

Vanaf de vroege ijzertijd tot aan het veralgemeend gebruik van de hoogoven bleef het siderurgisch proces quasi ongewijzigd (Schuerman 1995, 183). Voor de ijzerproductie was er nood aan een grote hoeveelheid water voor het wassen van de ertsbrokken en later voor het plots afkoelen van ijzer om het te harden. Dit kan de aanleg van talrijke waterputten op productiesites verklaren. *In situ* ovens zijn echter nauwelijks gekend, vermits de kuilen onder de potovens ondiep werden uitgegraven (De Laet & Van Doorselaer 1969). De bovenstructuur van laagovens werd bovendien meestal aan het einde van het proces vernietigd. Voor smeedhaarden of smidsevuren was zelfs geen specifieke structuur noodzakelijk, er kon aan een gewone huishaard worden gesmeed. Slakken worden op de meeste sites wel overvloedig aangetroffen, tenzij ze hergebruikt zijn. Recyclage van slakken vond plaats zowel in de oudheid zelf (bijvoorbeeld in de wegenbouw), als met de komst van de hoogoven (Schuerman 1995, 184). Naast slakken wordt ook bijkomend afval, zoals ovenwandfragmenten, brandstofasse-slakken, sintels, hamerslag, ertsen en half afgewerkte producten, aangetroffen (Schuerman 1995, 189; Windey 2013).

Onderzoek naar slakken kan meer informatie verschaffen omtrent het type activiteit dat ondernomen werd op een site. In de jaren 90 wees zulk onderzoek uit dat er twee soorten ijzerverwerkende sites bestonden: industriële sites waar ijzererts werd ontgonnen en gereduceerd en sites waar het ijzererts werd gesmeed tot een bruikbaar object. In het Romeinse Rijk bleken grotere en kleinere exploitatiezones zich af te tekenen in gebieden waar ertslagen overvloedig aanwezig waren. In deze zones werd ijzererts gereduceerd op talrijke industriële sites. Als deze sites al bewoond werden, dan was de woonzone duidelijk gescheiden van de werkzone. Mogelijk bestonden er ook satellietwerkplaatsen: kleinere werkplaatsen op enkele kilometers afstand van de hoofdsite. Daarnaast waren er in quasi elke Romeinse stad / nederzetting, inclusief de *vici*, één of meerdere smeedhaarden aanwezig. Hier werden objecten uit geïmporteerde halffabricaten geproduceerd voor de lokale markt. Het smeden vond meestal plaats in een afzonderlijke zone *extra muro*s. Slechts op een minderheid van deze sites vertrok men van het ruwe ijzererts om producten te creëren. *Villae* laten meestal slechts sporen van beperkte smeednijverheid achter, maar in Gallië namen *villae* soms de taak van een industriële site op zich en soms vond het gehele siderurgisch proces er plaats (Schuerman 1995, 190-191).

In Vlaanderen zijn, naast Destelbergen, onder andere nog de *vici* van Velzeke en Waasmunster en de baanpost van Kerkhove gekend als niet-industriële sites met verschillende burgerlijke functies. Op deze sites werd ijzer voor een lokale markt gesmeed. Sporen van de voorafgaande reducerende fase werden nergens aangetroffen, maar de opgravingen waren slechts fragmentarisch (Schuerman 1995, 190). Overigens konden inmiddels in bijna alle *vici* in Vlaanderen activiteiten van bronsgieters en/of ijzersmeden aangetoond worden (Magerman 2006, 146). Naast de *vici* is de nederzetting van Sint-Huibrechts-Lille (prov. Limburg) zeker ook de moeite waard om te vermelden. Op deze locatie werden twee werkkuilen gevonden, waarvan één met oventjes erin. In het centrum van één van de kuilen, met een diameter van ca. 12 m, was er een uitdieping die ging tot aan de ijzerhoudende laag, met het winnen van ijzererts als vermoedelijk doel. De vier oventjes zouden gediend hebben voor het smelten van ijzer. Palenrijen in de buurt werden geïnterpreteerd als stapelplaatsen voor houtskool, waarmee de oventjes gestookt werden. Verder werden in de werkput nog twee kleine rechthoekige gebouwtjes aangetroffen, die waarschijnlijk dienden als werkplaats. In de tweede werkput zou ook ijzererts gewonnen zijn, maar er werden geen oventjes aangetroffen. Aansluitend op deze werkput werd een werkhuis aangetroffen in functie van het ijzerbewerkingsproces (Claassen 1998, 27-29). De aangetroffen structuren en vondsten lijken erop te wijzen dat op deze locatie metaalproductie op grotere schaal plaatsvond. Sint-Huibrechts-Lille vormt in dit opzicht evenwel een uitzondering binnen Vlaanderen (Claassen 1998, 27-29; Delaruelle e.a. 2004, 249-250).

Momenteel gaat men ervan uit dat het groot aantal ijzerslakken op vele Romeinse sites bewijst dat er in onze streken een intense activiteit van smederijen was en dat de ambachtelijke productie in Vlaanderen waarschijnlijk gebruik maakte van aangevoerd ruwijzer en van arm moeraserts dat in de zandstreek en in het Hageland te vinden was (Martens e.a. 2006; De Beenhouwer 2005). Met uitzondering van Sint-Huibrechts-Lille vond metaalproductie op kleine schaal plaats (Claassen 1998, 45). Naast ijzerproductie, wijst de aanwezigheid van smeltkroesjes op verschillende sites in Vlaanderen overigens ook op de invoer en lokale productie van voorwerpen uit brons. De grondstof voor brons (koper en tin) moest worden ingevoerd. Brons werd echter ook vaak gerecycleerd (Martens e.a. 2006). De hoge prijs van metaal maakte dat er hoogstwaarschijnlijk een noodzaak was voor de systematische inzameling en hergebruik van oud metaal (*scrap*) op Romeinse sites in Vlaanderen. Hierover is evenwel weinig informatie bekend (Gralfs 1994, 44). Ook over het verloop van de *chaîne opératoire* van de productie van zowel bronzen als ijzeren voorwerpen is tot heden weinig gekend (Vanderhoeven e.a. 2022, 163-164).



Fig. 3.4: Afvalkuil met afvalproducten van de ijzerwinning (Destelbergen) (De Laet & Van Doorselaer 1969, plaat II).

In de middeleeuwen bleef de focus in onze gewesten schijnbaar liggen op een kleine lokale productie (Windey 2003, 71). Ovenresten uit deze periode blijken zelden bewaard. Kuilovens uit de ijzertijd en de Romeinse periode bieden meer kans op bewaring vanwege de ingegraven slakkuil. Wel is heel wat slakmateriaal en ijzerwolf gekend. Vondstmateriaal wordt vaak teruggevonden in secundaire contexten. Desalniettemin kan het materiaal inzicht bieden op de ijzerproductie en -bewerking en hieraan gekoppeld op de lokale productie, import en de sociale context van de site waar het materiaal werd aangetroffen (Windey 2003, 19-28 en 81). In 2003 onderzocht Windey het ijzerproductieproces op drie sites in Oost-Vlaanderen, daterend van de 10de tot de vroege 14de eeuw.[3] Hij sprak van een lokale productie ten dienste van ontginningen die vanaf de 10de eeuw plaatsvonden en waarvoor ijzeren werktuigen noodzakelijk waren (onder andere voor boskap en landbouw). Verder bleek ijzer ook nodig ten dienste van de handel (bijvoorbeeld scheepsbouw) en was er een militaire afzetmarkt. Het toenmalig studiegebied bleek echter niet over de ertsen en hydrografie te beschikken om productie op grote schaal te ondersteunen. Naar de late middeleeuwen toe speelde ook de verminderde beschikbaarheid van hout hier een rol in. Op basis hiervan ging men uit van een verspreide kleinschalige ijzerproductie die voornamelijk de lokale noden moest invullen. De afwezigheid van archeologische structuren die in verband gebracht kunnen worden met productie zouden deze visie bevestigen (Windey 2003, 71 en 75).

[3] Klein-Sinaai - Boudelo, Gent - Nieuwe Beestenmarkt en Melsele - Brielstraat.

De streek rond Herentals, in de Antwerpse Kempen, bleek echter wel interessant in het opzicht van lokale productie. Hier werd namelijk mogelijk vanaf de 15de eeuw ijzer op (supra)lokale schaal geproduceerd. Vermoedelijk werd van hieruit de streek voorzien van ijzer, dat gewonnen werd uit lokaal moerasijzererts en ijzerzandsteen. Ontginning van ijzeroer in de Antwerpse Kempen is gedocumenteerd vanaf de late middeleeuwen tot het begin van de 20ste eeuw (Stroobants 1978, 102; Meylemans e.a. 2007, 115). Houtskoolproductie is gedocumenteerd in het Zoerselbos tussen de 13de en de 17de eeuw. Vermits dit bos slechts op ongeveer 15 kilometer van Herentals gesitueerd is, is het verleidelijk om beide productieplaatsen aan elkaar te relateren. Een andere interessante locatie wat betreft ijzerproductie in de Antwerpse Kempen is de vroegmiddeleeuwse site van Nijlen-*Mussenpad* (zie ook hoofdstuk 6), gesitueerd op ca. 10 km van Herentals. Vroeger onderzoek wees uit dat er hier zowel productie uit lokale ertsen (ijzerconcretie-zandsteen) als raffinage op de site plaatsvond, die mogelijk de lokale vraag oversteeg en dus ook op handel gericht was. Voor grote steden als Antwerpen, Gent en Brugge is pas echte lokale ijzerproductie gekend vanaf de 19de eeuw, mogelijk omdat zowel de erts als de brandstof moesten worden ingevoerd en de productie pas rendabel werd na uitputting van het ijzererts in Wallonië (Windey 2003, 76-77; Bourgeois e.a. 2015; Stroobants 1978, 103-104).

Wat betreft ijzerimport, bieden de eerste historische documenten omtrent toltarieven, pas daterend uit eind 12de – begin 13de eeuw, enig inzicht. Hieruit blijkt dat er ijzer werd ingevoerd vanuit Duitsland, Spanje en Zweden, maar ook uit Entre-Sambre-et-Meuse en Henegouwen. Vooral vanuit Luik, Namen, Binche, Bergen, Chièvres en Bauffe werd ijzer verhandeld naar Frankrijk en de Vlaamse steden, waarvan deze laatsten op hun beurt weer een groot deel als bulkgoederen doorverhandelden (Stroobants 1978, 98). Vlaamse steden hadden vanaf de 13de eeuw een spilfunctie in de Europese ijzerhandel, onder andere richting Engeland. Verdragen maakten dat verschillende metalen makkelijker over de Maas en Rijn vervoerd konden worden. De verscheping van de goederen gebeurde voornamelijk in de vorm van een ruwe wolf of als ijzerbaar (Windey 2003, 78-79).

3.2 (Pre)historische ambachten en ijzerproductie in de Antwerpse Kempen

Wat betreft de Antwerpse Kempen zijn onderzoeken naar ijzerproductie net zoals in de rest van Vlaanderen zeer beperkt. Desondanks beschikken we wel over een aantal aanwijzingen van ambachtelijke productie in het verleden, waaronder ook ijzerproductie. In onderstaande tekst wordt kort ingegaan op een aantal gekende aanwijzingen, onderzoekspistes en hypotheses die in het verleden vooropgesteld werden omtrent deze ambachtelijke productie in de Antwerpse Kempen.

Tijdens de ijzertijd waren in de rurale samenleving van de Antwerpse Kempen ambachtelijke activiteiten hoogstwaarschijnlijk kleinschalig, doorgaans voor eigen gebruik en gericht op een breed-spectrum economie waarvan landbouw en veeteelt de basis vormden. In verschillende nederzettingen uit de vroege ijzertijd kwamen grotere gebouwen voor die door hun opvallend solide constructie mogelijk als schuur of werkplaats gebruikt werden (bijvoorbeeld Boom-Krekelenberg II, Hertoghs e.a. 2013). Deze gebouwen kwamen nog sporadisch voor tot in de midden-ijzertijd (bijvoorbeeld Brecht-Hanenpad, Delaruelle & Verbeek 2004, 124-127 en 158). Echter heel wat activiteiten, waaronder het ontginnen van grondstoffen en activiteiten waar vuur aan te pas kwam (pottenbakken, smeden?) en die bijgevolg brandgevaar opleveren, gebeurden allicht *off-site*, waardoor ze door archeologen vaak moeilijk te traceren zijn. Resten hiervan lijken dan ook slechts sporadisch aangetroffen tijdens

archeologisch onderzoek (Annaert e.a. 2008a, 54). Zowel de schaal van ijzerertsontginning als de intensiteit van ijzerbewerking (vervaardiging van voorwerpen) is voor wat betreft de ijzertijd in de regio van de Antwerpse Kempen (en bij uitbreiding Vlaanderen) slecht gekend. In Wallonië werden er, zoals eerder al vermeld werd, vooral vanaf de *La Tène*-periode ertsen ontgonnen tussen de Samber en Maas, in Belgisch Lotharingen en in het Luikse. Hier bevinden zich rijke lagen hematiet en limoniet. In de moerassige gebieden in de Kempen komt moerasijzererts voor, hetgeen in historische tijden op vaak semi-industriële wijze werd geëxploiteerd. Van een dergelijke exploitatie zijn er voor de ijzertijd evenwel geen sporen gekend. Wel zijn 'ijzerslakken' vaker aangetroffen tijdens opgravingen van ijzertijdnederzettingen, bijvoorbeeld te Meer (Van Impe & Beex 1977), Brecht-Ringlaan I (Bracke e.a. 2017), Lier – Duwijck II (Cryns e.a. 2014; Laloo e.a. 2010), Borsbeek-Krijgsbaan (Mestdagh & Bartholomieux 2022; Mestdagh e.a. 2023).

Metallurgisch vondstmateriaal uit de ijzertijd is over het algemeen relatief beperkt. Te Beerse-Beekakkers is in een paalkern van een achtpalig gebouw een bronsschat aangetroffen en te Geel-Zammelbrug is de (depositie)vondst van een ijzeren speerpunt gekend (Van Impe e.a. 2011; Marynissen 1983). Ook in graven worden weleens metaalvondsten ontdekt (bijvoorbeeld een mantelspeld aan de Helhoekheide in Rijkevorsel; Delaruelle e.a. 2013, 132).



Fig. 3.5: Speerpunt aangetroffen aan de Zammelbrug te Geel (© erfgoedinzicht.be).

Tijdens de Romeinse periode bleef de samenleving in de Antwerpse Kempen aanvankelijk in hoofdzaak een agrarische maatschappij, maar vanaf de vroeg-Romeinse periode trad stilaan een omschakeling op naar een grotere markteconomie met een monetair stelsel, waarbij netwerken expandeerden en specialisatie blijkbaar loonde. In dit kader dient de ontwikkeling van grotere nederzettingen met een meer complexe infrastructuur - zoals de *vici* van Grobbendonk, Rumst en Kontich - te worden vermeld. Onder invloed van factoren zoals de nabijheid van de Rijnlimes trad intensivering van de landbouw en de ambachtelijke productie op (Tichelman s.d., 32). Deze intensificatie omvatte zowel Romeinse innovaties als een volumevergroting van de productie. De ambachtelijke productie won voor een deel van de bevolking in grote mate aan belang (Martens e.a. 2006; De Beenhouwer 2005). De ontwikkeling van lokale nijverheid werd beïnvloed door factoren zoals de aanwezigheid van grondstoffen, een

gunstige handelsligging en/of de nabijheid van een afzetmarkt (Vermeulen 1992). Hoewel een aantal ambachtelijke activiteiten zich beperkte tot het niveau van het huishouden en het bereik van de nederzetting zeker niet oversteeg, kenden producten van andere ambachtelijke ateliers zeker wel een regionale of supraregionale verspreiding (Martens & Willems 2002).

In landelijke nederzettingen betroffen artisanale activiteiten voornamelijk smeden, spinnen en weven. Slechts in zeldzame gevallen worden speciale structuren aangetroffen die in verband kunnen worden gebracht met metaalbewerking, bijvoorbeeld in de nederzetting van Sint-Huibrechts-Lille (provincie Limburg) (Claassen 1998, 27-29; Delaruelle, Verbeek & Declerq 2004, 249-250). Aangenomen wordt dat in landelijke nederzettingen wellicht ambachtelijke activiteiten werden uitgevoerd in grotere spiekers en hutkommen (Koot & Berkvens 2004, 240 en 246; Cuyt 2007, 155; Bazelmans 1990, 27). In het Antwerpse worden aan de Tijl- en Nelestraat in Turnhout en in Lieshout kleinere gebouwen met twee of drie nokpalen in verband gebracht met een mogelijke functie als werkplaats (Delaruelle 2016, 410). Andere indicaties voor ambachtelijke nijverheid zijn onder andere metaalslakken, wetstenen en slijpstenen (Delaruelle, Verbeek & Declerq 2004, 251). Algemeen wordt aangenomen dat in het Maas-Demer-Schelde-gebied, waarvan de Antwerpse Kempen deel uitmaken, metaalproductie eerder op kleine schaal gebeurde, met uitzondering van de eerder besproken nederzetting in Sint-Huibrechts-Lille (Claassen 1998, 45). De aanwezigheid van een smid zou van cruciaal belang geweest zijn voor het dagelijkse leven (Martens e.a. 2006; De Beenhouwer 2005).

Naast de meer traditionele agrarische nederzettingen, ontstonden tijdens de Romeinse periode ook de eerste (sub)urbane nederzettingen waaronder zogenaamde *vici* (Tichelman s.d., 16-17). *Vici* kunnen beschouwd worden als economische schakel tussen de urbane wereld en het platteland. Ze maakten mogelijk deel uit van de administratieve en politieke structuur van het door de Romeinen veroverde gebied en waren meestal gericht op handel en productie voor de regio. In *vici* zijn dan ook vaak sporen van artisanale activiteiten teruggevonden. Zowel in Grobbendonk, als in Rumst en Kontich, de gekende 'Antwerpse' *vici*, werden pottenbakkersovens gevonden (Martens & Magerman, in: Vanderhoeven e.a. 2022) en in bijna alle *vici* in Vlaanderen konden activiteiten van bronsgieters en/of ijzersmeden aangetoond worden. Metaalnijverheid lijkt hier vaak te hebben plaatsgevonden aan de rand van de nederzetting (Magerman 2006, 146). Opvallend is ook de aanwezigheid van mogelijke valsmunterateliers in Rumst (Van Heesch 1991, 78-81). In *vici* werden ongetwijfeld nog talrijke andere producten vervaardigd, waarvan het productieproces minder duidelijke sporen nalaat. De nabijgelegen waterwegen werden vermoedelijk gebruikt voor het transport van goederen of speelden een rol in de ontwikkeling van bepaalde ambachtelijke activiteiten zoals leerbewerking (Magerman 2006, 140).

Vrijwel elke Romeinse site in Vlaanderen en dus ook in de Antwerpse Kempen levert metalen vondsten op, hetzij in de vorm van slakkig materiaal, hetzij als voorwerpen uit ijzer, koperlegering of lood (Vanderhoeven e.a. 2022, 135-139). In het Antwerpse werden in de *vicus* van Kontich sporen van primaire ijzerproductie aangetroffen (Verbeeck 1990) en ook in Grobbendonk werden ijzerslakken aangetroffen (Bruggeman e.a. 2020) (zie hoofdstuk 6). Enkele ovenstructuren uit de opgraving van de Mercuriussite in de *vicus* van Grobbendonk zijn mogelijk als metaalovens te interpreteren (Claessens e.a. 2022, 223-224). Verder is de vondst van ijzerslakken daterend uit de Romeinse periode gekend in onder meer Beerse-Oostmalseweg, Oelegem-Steenbergen (zie hoofdstuk 6) en mogelijk ook te Brecht-Ringlaan. Ook op andere sites komen ijzerslakken voor, maar problematisch is het feit dat deze niet

altijd duidelijk te dateren zijn en soms betreft het bij nader onderzoek ook geen slakmateriaal (zie paragraaf 2.2). Naast metaalvondsten die in verband staan met industrie en productie, zijn er ook vondsten die informatie verschaffen over het dagelijkse leven van de bevolking, vervoer en het leger. Zowat alle Romeinse sites leveren bijvoorbeeld ijzeren nagels op, vaak in verschillende variëteiten. Helaas blijft het onderzoekspotentieel van dergelijke gebruiksvoorwerpen vooralsnog onbenut. Tot op heden blijft voornamelijk aardewerk (als relatief goed bestudeerde materiaalcategorie) inzicht bieden in de activiteiten die plaatsvonden op de vondstlocaties (Vanderhoeven e.a. 2022, 135-139).

Na de grootschalige ontvolking van de Antwerpse Kempen tijdens de laat-Romeinse periode, raakte de streek omstreeks het begin van de vroege middeleeuwen geleidelijk aan terug bevolkt en ontstond opnieuw een samenleving gericht op zelfvoorzienende landbouwactiviteiten. De Karolingische periode bracht met de domanialisering een verschuiving naar een meer pastorale economie met zich mee ten gunste van de kloosters (Leenders 1996; Renes 1999; Huijbers 2004; Arts e.a. 2007, 54-55). Doorheen het proces van domanialisering werden domeinbewoners afhankelijker van de grondheer (Arts e.a. 2007, 47-48). Aanwijzingen voor metaalbewerking tijdens de vroege middeleeuwen zijn over het algemeen eerder beperkt, waardoor er ook weinig informatie van bekend is. Hutkommen worden traditioneel in verband gebracht met ambachtelijke bedrijvigheid (Chapelot 1980; Farnoux 1987; Zimmermann 1982), maar komen in onze streken relatief weinig voor (Annaert e.a. 2008b, 31). Wel worden houtskoolmeilers en brokken kalkmortel afkomstig van Romeinse nederzettingen in verband gebracht met metaalproductie of -bewerking.[4] Kalkmortel zou als *flux* gebruikt kunnen zijn in ovens of smeedhaarden (Boreel, Van Kerckhove & Schurmans 2007, 158). Vondsten in Nederland, zoals bronzen voorwerpen, oude munten en knipsels/*scrap* wijzen erop dat oud metaal zorgvuldig verzameld en bewaard werd voor hergebruik en de vervaardiging van nieuwe voorwerpen (Van Enckevort e.a. 2017, 228).[5] De kans is reëel dat dit ook in de aangrenzende Antwerpse Kempen gebeurde in navolging van praktijken tijdens de Romeinse periode (zie supra). Ook de vondst van ijzerslakken is op een aantal (vroeg-)middeleeuwse sites gekend. Vondstlocaties zijn o.a. Nijlen-Mussenpad, Vosselaar-Roggestraat en Herentals-Roggestraat. Het feit dat metaal als materiaalcategorie evenwel niet vermeld wordt in de onderzoeksbalans van 2008 (Annaert e.a. 2008b) is misschien wel tekenend voor de aandacht die eraan gegeven werd in het verleden. Vermits ijzerproductie en -verwerking ook nauwelijks in geschreven bronnen wordt vermeld, is extra aandacht hiervoor binnen de archeologie zeker raadzaam. De ijzerproductie bood immers naast de wolproductie een mogelijkheid voor plattelandsbewoners om een betere economische positie te verwerven tijdens de late middeleeuwen (Arts e.a. 2007, 61-62).[6]

Al bij al kan besloten worden dat over ijzerontginning en -productie tijdens de ijzertijd, Romeinse periode en de vroege middeleeuwen betrekkelijk weinig informatie gekend is voor Vlaanderen en

[4]Zie NOaA hoofdstuk 20 'De Romeinse tijd, Middeleeuwen en vroegmoderne tijd in het Midden- en Oostnederlands zandgebied', §3.8.2: Sporen van houtskoolproductie in de vorm van rechthoekige (veelal Romeinse tijd) en ronde (veelal vroege middeleeuwen) meilerkuilen zijn onder meer aangetroffen te Colmschate, Zutphen-Looërenk, Heeten, Zwolle-Bikkenrade (Hermsen 2005) en Anloo-Bosweg (Groenewoudt 2005). Ze lijken samen te hangen met de productie en bewerking van ijzer en duiden bovendien op de aanwezigheid en exploitatie van bos.

[5] Ook in Vlaanderen zijn een aantal productieplaatsen van bronzen voorwerpen (op basis van gerecycleerde bronzen voorwerpen of *scrap*) uit de Romeinse periode gekend, waaronder in Oudenburg (Vanhoutte 2009) en Tienen (Martens e.a. 2006).

[6] Dit zou alleszins voor de late middeleeuwen gelden, maar niets sluit uit dat de wortels van dit proces al in een vroegere periode terug te vinden zijn.

meer specifiek voor de Antwerpse Kempen. Niet alleen bleef onderzoek naar metaalproductie in Vlaanderen tot heden beperkt en is de beschikbare informatie fragmentair en versnipperd, ook de identificatie, verzameling en registratie van metaalslakken tijdens archeologische onderzoeken liet in het verleden vaak te wensen over. Binnen het huidige syntheseonderzoek zal dan ook een eerste aanzet tot verder onderzoek naar metaalproductie gegeven worden, maar zullen ook enkele aandachtspunten betreffende het herkennen, inzamelen en registreren van resten van metaalproductie behandeld worden.

4. Algemene aspecten van de (pre)historische ijzerproductie

Hanne De Langhe & Lente Van Brempt

4.1 Algemeen

De methodes waarmee ijzer geproduceerd werd veranderden door de tijd heen, maar een constante is het feit dat zuiver ijzer een smelttemperatuur heeft van 1540˚C. Tot aan de 19de eeuw kon deze temperatuur niet bereikt worden. Vanaf de volle middeleeuwen komt de hoogoven in gebruik en konden zodanig hoge temperaturen worden bereikt, waarbij een soort van vloeibare legering van ijzer gevormd kon worden. Dit ruwijzer is rijk aan koolstof en is in zijn gestolde vorm een hard, broos en moeilijk buigbaar materiaal. Om dit ruwijzer verder te kunnen bewerken dient het koolstofgehalte te worden verlaagd door middel van een bijkomend zuiveringsproces met staal als resultaat. Daarom spreekt men van het indirecte productieproces (Craddock 2003, 231; Tylecote 1980, 209).

In de (pre)historische productieprocessen behield het ijzer steeds een vaste toestand en werd het ijzererts door middel van een chemische reactie tot ijzer gereduceerd bij een temperatuur van ca. 1250˚C. Dit wordt het directe productieproces genoemd. Het resultaat, de ijzerwolf, was echter nog steeds doordrongen met onzuiverheden en diende verder bewerkt te worden om tot een vrijwel zuiver metaal te komen (Craddock 2003, 231; Tylecote 1980, 209). Elke ondernomen stap resulteerde in het beoogde product en afvalmateriaal (Fig. 4.1). Het is dit afvalmateriaal dat doorgaans aangetroffen wordt bij archeologische opgravingen en getuigt van de aanwezigheid van metallurgische activiteiten op of in de nabijheid van de vindplaats.

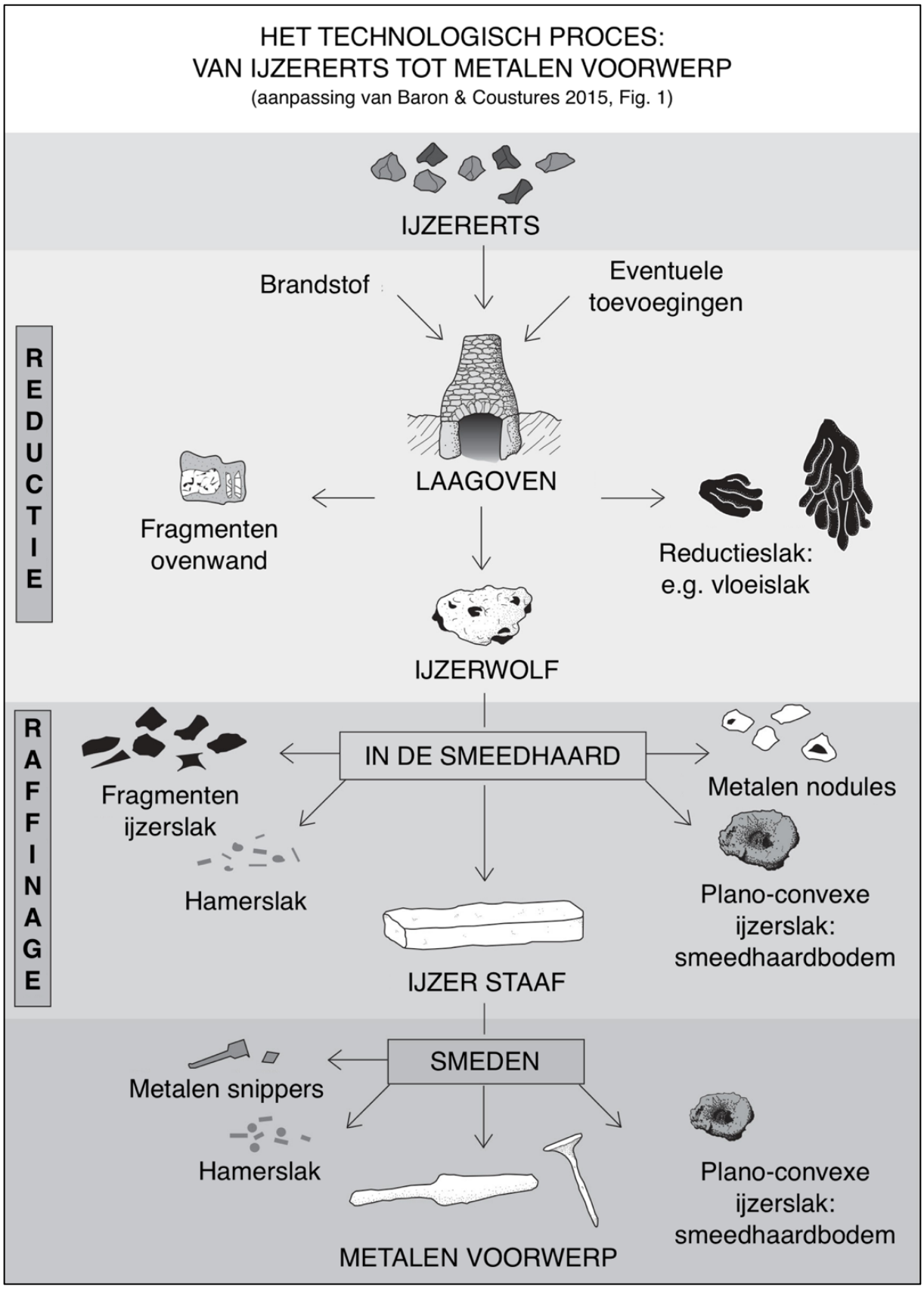


Fig. 4.1: Schematische weergave van het technologisch proces om van ijzererts tot een metalen voorwerp te komen (aanpassing van Baron & Coustures 2015, Fig. 1).

4.2 Het technologisch proces

4.2.1 Het directe productieproces: de reductiesmelt

IJzererts bestaat doorgaans uit ijzer(hydr)oxides en restmineralen zoals silicaten, calcium, mangaan en fosforhoudende componenten, i.e. het ganggesteente (*gangue-material*). Om ijzer te bekomen dient in eerste instantie het ijzeroxide (Fe_2O_3) te worden gereduceerd tot metallisch ijzer (Fe) door het zuurstof (O) te verwijderen. Het verkregen metallisch ijzer dient echter ook van het ganggesteente ontdaan te worden. Deze ongewenste mineralen worden in vloeibare vorm als ijzerslak van het ijzer gescheiden (Duijvenvoorde 2006, 87-88; Joosten 2004, 7-9; Pleiner 2000, 133-135).

De reductie van ijzeroxide wordt verwezenlijkt door een reactie met koolstofmonoxide-gas (CO), een sterk reducerende actor bij hoge temperaturen. Het gas ontstaat door de onvolledig verbranding van koolstof (C), i.e. houtskool (reactie 1).

Reactie 1 $2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$

Een groot aandeel van de ertsen die gebruikt werden in de (pre)historische ijzerproductie bestaat voor een groot deel uit ijzerhydroxiden. Het aanwezige water in het ijzererts verdwijnt bij temperaturen onder 300˚C relatief vroeg in het reductieproces (reactie 2). Het ijzererts kon vooraf ook geroosterd worden, zodat het water, en ook eventueel aanwezig organisch materiaal en zwavel (S), verwijderd was voordat het erts aan de oven toegevoegd werd.

Reactie 2 $2FeOOH(s) \rightarrow Fe_2O_3(s) + H_2O$

Gedurende het reductieproces reageert het koolstofmonoxide (CO) met de zuurstof van de ijzeroxide en vervolgens vormen er zich oxiden met zuurstof/ijzer-ratio's die geleidelijk verlagen van 3/2, via 4/3 tot 1. Met andere woorden, Fe_2O_3 wordt gereduceerd tot Fe_3O_4 (magnetiet) (reactie 3), wat vervolgens verder reduceert tot FeO (wüstiet) (reactie 4). Wüstiet zal uiteindelijk reduceren tot metallisch ijzer (reactie 5).

Reactie 3 $3Fe_2O_3(s) + CO(g) \rightarrow 2Fe_3O_4(s) + CO_2(g)$
Reactie 4 $Fe_3O_4(s) + CO_2(g) \rightarrow 3FeO(s) + CO_2(g)$
Reactie 5 $FeO(s) + CO_2(g) \rightarrow Fe(s) + CO_2(g)$

Tijdens het productieproces reageert het koolstofmonoxidegas tot koolstofdioxide (CO_2) gas (reactie 6), hetwelk de oven langs boven verlaat door de luchtstroom in de ovenschacht.

Reactie 6 $2CO(g) + O_2 \rightarrow 2CO_2(g)$

Dit reductieproces werd in de (pre)historische perioden uitgevoerd in een laagoven die gestookt werd met houtskool en voorzien was van een constante luchtstroom (Fig. 4.2). De verbranding van houtskool verschaft de nodige hoge temperatuur voor de reducerende condities in de oven. Het erts en houtskool worden waarschijnlijk afwisselend maar in gelijkaardige hoeveelheden (volume) in de oven geladen.

De houtskool brandt weg en het erts zakt door de schacht neerwaarts langsheen verschillende reducerende zones. Reacties 4 en 5 vinden plaats bij temperaturen boven 720˚C in verschillende delen van de oven, afhankelijk van de temperatuur en reducerende condities. Het metallisch ijzer vormt zich zo al relatief hoog in de oven, als onderdeel van een conglomeraat bestaande uit ijzer, wüstiet (FeO) en restmineralen, of eenvoudigweg als ijzerdeeltjes omhuld door slakkenmateriaal. In de lagere zones van de oven, ter hoogte van de luchtinlaat waar de temperatuur tot 1100-1200˚C reikt, vindt een volgende reactie plaats. Bij een temperatuur van ca. 1176˚C worden het metallisch ijzer en het ganggesteente van elkaar gescheiden. Terwijl het metallische ijzer (smeltpunt 1539˚C) zijn vaste toestand behoudt, reageert de silica uit het ganggesteente met een deel van het wüstiet (FeO) en vormt zo fayaliet ($2FeO.SiO_2$), de hoofdcomponent van de metaalslak. Dit slakkenmateriaal smelt en vloeit uit het conglomeraat. In het heetste deel van de oven klonteren de bekomen ijzerpartikels samen tot een soort sponsvormige massa, de zogenaamde ijzerwolf. Deze hecht zich aan de wand van de oven, net onder het luchtkanaal. Dit biedt de mogelijkheid aan het vloeibare slakkenmateriaal om door de poriën naar de bodem van de oven te zinken waar het al dan niet als een vloeibare massa uit de oven getapt wordt (Duijvenvoorde 2006, 87-88; Joosten 2004, 7-9; Pleiner 2000, 133-135). De reductiesmelt van ijzererts resulteert in de ijzerwolf en ijzerslak. Deze reductieslak is het afvalproduct waarin de (rest)mineralen uit het ganggesteente opgenomen zijn, maar eventueel ook brandstofasse, ovenbekleding en minuscule hoeveelheden metallisch ijzer.

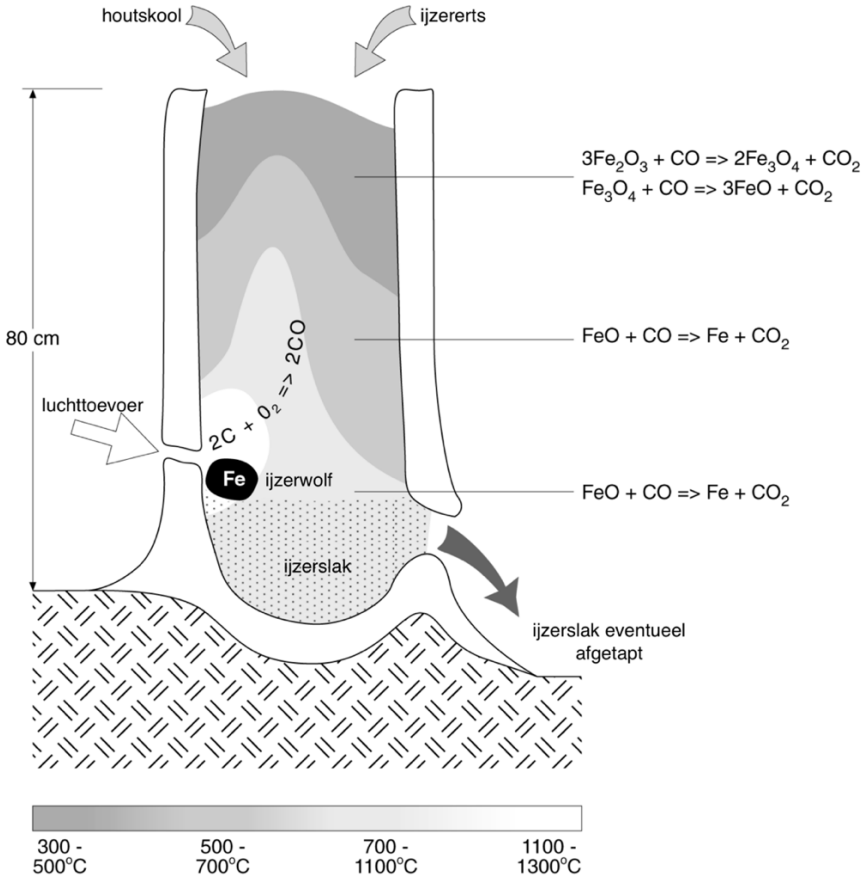


Fig. 4.2: Schematische weergave van het reductieproces van ijzer in een laagoven (aanpassing van Joosten 2004, Fig. 2).

4.2.2 Het raffinage- en smeedproces

De scheiding van het metallisch ijzer en het slakkenmateriaal tijdens het reductieproces is nooit volledig. De bekomen ijzerwolf bestaat in essentie uit een poreus conglomeraat van ijzeren vezels, lagen en partikels die in vaste toestand gesinterd zijn tot een sponsachtige massa, maar deze is nog steeds doordrongen met (ongewenst) metaalslak. In deze vorm kan het ijzer niet meteen gebruikt worden voor de productie van een voorwerp. De ijzerwolf dient bijgevolg verder bewerkt te worden om het slakkenmateriaal zo goed als mogelijk te verwijderen en de poriën te dichten. Hierbij wordt de ijzerwolf opnieuw verhit in een vuur, oven of haard, tot op een temperatuur waarin het metallisch ijzer de austenitische toestand bereikt (meer dan 900˚C) en de fayalitische slak vloeibaar wordt (ca. 1200 ˚C).[7] De verhitte ijzerwolf wordt vervolgens direct behamerd om de stroperige slak uit de poriën te drijven en de ijzerpartikels tot een compacte massa te smeden. Deze handeling werd mogelijks meerdere keren herhaald, maar er zal steeds wat slakkenmateriaal achterblijven in het ijzer. Gelukkig bevordert ijzerslak het smeden van het ruwe ijzer tot een staaf of voorwerp, waarbij het zich over het oppervlak van de hete ijzerpartikels spreidt en de oxidatie van het ijzer voorkomt. Net zoals bij de reductiesmelt verzamelt het ongewenste slakkenmateriaal zich onderaan in de verhittingshaard (Duijvenvoorde 2006, 89; Joosten 2004, 15; Pleiner 2000, 215; Fig. 4.3).

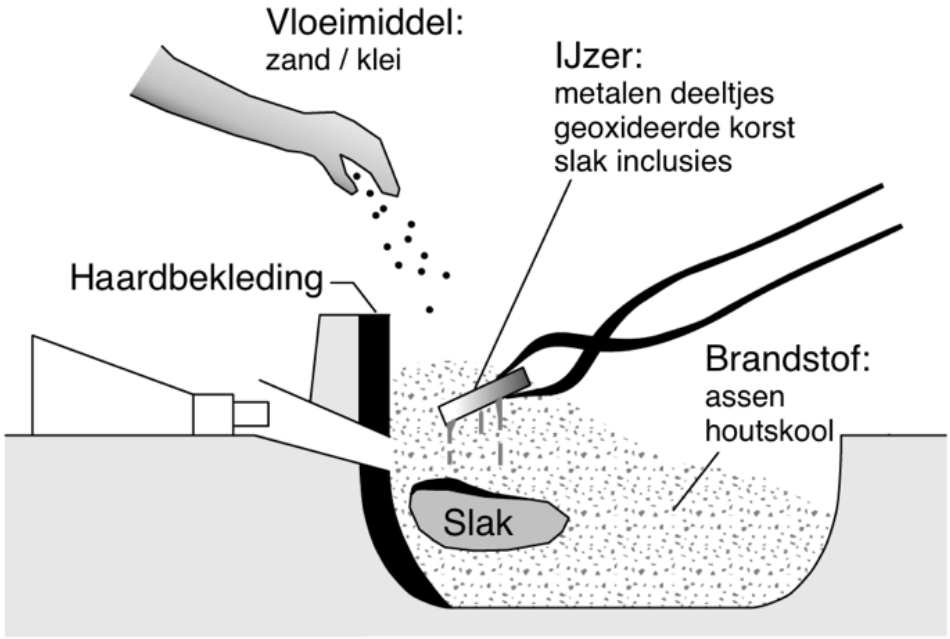


Fig. 4.3: Schematische weergave van de verhittingshaard (aanpassing van Serneels & Perret 2003, Fig. 3).

[7] Afhankelijk van het koolstofgehalte en de temperatuur bekomt het ijzer een ferritische en/of austenitische structuur. Het austeniet heeft een meer open kristalstructuur dan ferriet. Daar het meer glijvakken heeft is het gemakkelijker te vervormen. Daarom wil een smid zijn staal graag verhitten tot in het austenietgebied. Bij een zuiver ijzer met een koolstofgehalte van 0% wordt de austenitische structuur behouden tussen 900 en 1539°C (https://innometconsultancy.nl/het-ijzer-koolstof-diagram/).

4.3 De installaties

4.3.1 De reductieovens

Wereldwijd zijn aan de hand van toevalsvondsten en archeologische opgravingen de resten van duizenden ovens teruggevonden, die worden toegeschreven aan het smelten van ijzererts. Meestal is echter enkel het onderste deel, dat verslakt en verglaasd is, bewaard gebleven. De bovenste delen van de ovens zijn ingestort of werden vernield door de makers om na afloop van het smeltproces de ijzerwolf in te zamelen. De slechte bewaring van de structuren maakt het moeilijk om deze correct te interpreteren, maar toch bieden de verzamelde resten soms voldoende elementen om een algemeen beeld te krijgen van hoe de installatie er mogelijks heeft uitgezien.

Er waren verschillende types van reductieovens in gebruik met zeer uiteenlopende variaties afhankelijk van hun geografische en chronologische situering, maar over het algemeen kunnen we wel stellen dat de reductieovens bestonden uit een gesloten ruimte, gevuld met erts en houtskool, en voorzien waren van een luchttoevoer. Om het beoogde eindresultaat te kunnen bekomen moesten de ovens voldoen aan enkele basiscondities:

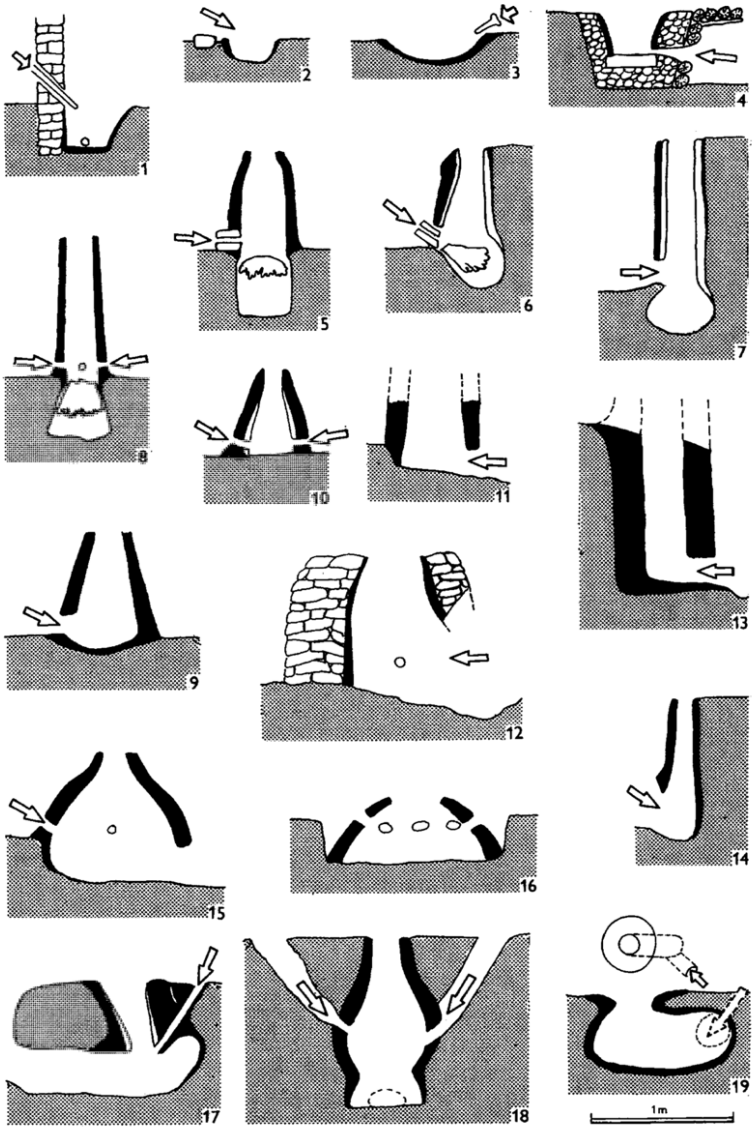
1. Vervaardigd uit een materiaal dat zeer hoge temperaturen (1100-1400˚C) kan weerstaan.
2. Een gesloten vorm om de nodige reducerende condities te behouden.
3. Reducerende gassen moeten vrij kunnen circuleren doorheen de lagen van erts en brandstof: de installatie moet een vorm hebben waarbij zowel lucht kan worden aangevoerd naar binnen, en gassen kunnen worden afgevoerd naar buiten.
4. Bij voorkeur: de ijzerslak moet fysiek gescheiden worden van de ijzerwolf.

De smeltovens in Centraal-Europa werden bijgevolg doorgaans vervaardigd uit klei en/of steen, met meestal een meer hittebestendige bekleding van klei met zand of chamotte magering aan de binnenzijde. Een geforceerde luchtstroom werd voorzien aan de hand van blaasbalgen waarbij de blaaspijpen op de rand van de reductiekamer of door openingen onderaan in de ovenwand geplaatst werden. Deze blaaspijpen waren voorgebakken cilindervormige pijpen of geperforeerde rechthoekige blokken, eveneens vervaardig uit hittebestendige klei. Ook werd er gebruik gemaakt van een natuurlijk opgewekte luchtstroom door de schacht hoog en smal genoeg te maken waarbij een schoorsteen-effect gecreëerd werd. Eventueel werd ook de mogelijkheid gecreëerd om de metaalslak fysiek te scheiden van de ijzerwolf en in of naast de oven op te vangen. Zo veel mogelijk van de slak geproduceerd tijdens het smelten moest fysiek gescheiden worden van het ijzer, en dit werd doorgaans verwezenlijkt op een van de volgende manieren:

1. De slak kon door de schacht naar beneden bewegen in een stroperige vorm waarna het of via een opening onderaan uit de oven kon geharkt worden, of door een gat uit de oven vloeide.
2. De gesmolten slak vloeide door de poriën van het sponsig ijzer neerwaarts in een kuil onderaan de oven waar het stolde tot een zware blok slak.
3. De oven was niet voorzien voor de afvoer van de slak tijdens het smeltproces, dus de slak bleef in de oven tot het proces volledig was waarbij de slak van het ijzer gescheiden werd nadat het volledig conglomeraat uit de oven werd gehaald.

Er waren ook verschillende methoden om het ijzer uit de oven te halen. In de ovens die niet de mogelijkheid verleenden om het ijzer en de slak fysiek van elkaar te scheiden, werd het conglomeraat in zijn geheel uit de oven geheven en vervolgens onderworpen aan intensieve arbeid om de slak en het ijzer manueel van elkaar te scheiden. In de structuren waarbij de fysieke scheiding van slak en ijzer wel beoogd werd, werd de ijzerwolf verwijderd door een bestaande opening aan de voet van de oven of door een stuk van de ovenwand af te breken (Pleiner 2000, 141-142).

Schematische weergave van een selectie van de voornaamste types van de reductieoven (Pleiner 2000, Fig. 73).



Kom-ovens: 1. Catalaanse haard, 19de eeuw; 2. Kestor, pre-Romeins; 3. Zerotín, 10de eeuw; 4. Scandinavische reductieoven, 18-19de eeuw;
Put-ovens: 5. Podborany, La Tène periode; Lovosice, Romano-Barbaarse periode; 7. Igolomia, idem; 8. Scharmbeck, idem.
Laagovens: 9. Praag-Podbaba, Romano-Barbaarse periode; 10. Novaya Pokrovka, pre-Middeleeuws; 11. Salzgitter-Lobmachtersen, Romano-Barbaarse periode; 12. Ludes, 8ste eeuw; 13. Ashwicken, Romeins; 14. Imola, 11-12de eeuw.
Koepel-ovens: 15. Unterpullendorf, La Tène periode; 16. Mechlin, Romano-Barbaarse periode.
Ondergrondse ovens: 17. Želechovice, ca. 800 n.Chr.; 18. Yutanovka, 9de eeuw; 19. Polovinka, pre-Middeleeuws; 19. Akh Tashtar, Siberie, 1ste helft 1ste millenium n.Chr.

Fig. 4.4: Schematische weergave van een selectie van de voornaamste types van de reductieoven (Pleiner 2000, Fig. 73).

Er bestaan verschillende systemen voor de classificatie van de reductie-ovens, elk met hun gebreken. Pleiner (2000, 143) maakt zo een onderscheid tussen ingegraven installaties en ovens waarbij het proces voornamelijk bovengronds plaatsvond (Fig. 4.4). Tylecote (1987, 162) daarentegen maakt een onderscheid tussen *non-slag-tapping* of *slag-tapping*, i.e. op basis van de locatie van de slakkuil in of buiten de oven. Beide classificatiesystemen geven een inzicht in de evolutie van het productieproces in ovens met een beperkte capaciteit tot ovens met een aanzienlijke toename in de output. De oventypes waren echter doorgaans gelijktijdig in gebruik en waardoor deze classificatiesystemen geen chronologisch overzicht bieden (Joosten 2004, 12). Een andere classificatie is deze waarbij eenvoudigweg drie basistypes van ovens onderscheiden worden: de kom-oven (*bowl-furnace*), de koepel-oven (*domed furnace*) en de laagoven (*shaft furnace*). Deze kunnen verder onderverdeeld worden volgens de technologische eigenschappen zoals de luchttoevoer en de hantering van het slakkenmateriaal. Zo kan bij de laagoven een onderscheid gemaakt worden tussen de aftap-oven (*slag-tapping furnace*) en de put-oven (*slag pit furnace*) (Joosten 2004, 12). Deze classificatie zal hier gehanteerd worden om een overzicht te geven van de verschillende oventypes.

De **kom-oven** is de meest eenvoudige en schijnbaar vroegste vorm van de reductieoven. Dit type betreft in principe een eenvoudige bolvormige kuil in de grond met een diameter tussen 30 en 100 cm en een diepte tussen 20 en 100 cm, bekleed met hittebestendige klei of stenen. Een mix van erts en houtskool werd in de kuil geplaatst. Zeer waarschijnlijk was de kom-oven ook voorzien van een lage schacht. Zo konden het erts en houtskool ook tijdens het proces toegevoegd worden. Blaasbalgen werden gebruikt om een luchtstroom te creëren om de vereiste hoge temperaturen en reducerende condities te behalen in deze installatie, die zich hoofdzakelijk ondergronds bevindt. Kom-ovens hebben een relatief klein volume en kleine reductiezone waardoor slechts kleine hoeveelheden ijzer konden worden geproduceerd. Mogelijks werden voornamelijk gemakkelijk reduceerbare ertsen zoals moerasijzererts gebruikt. Het resultaat was bijkomend slechts een conglomeraat van ijzer en slak, dewelke manueel van elkaar gescheiden dienden te worden door zeer intensieve arbeid (Joosten 2004, 12; Pleiner 2000, 145). De vroegste gekende exemplaren van dit oven-type werden aangetroffen in de regio van de oostelijke kust van de Zwarte Zee en ten zuiden van Tbilisi (Georgië), en konden gedateerd worden in de eeuwen rond 1000 v.C. De oudste kom-ovens die zijn opgegraven in centraal Europa dateren uit de late Hallstatt periode (ca. 6de-5de eeuw v.C.). Deze werden aangetroffen in Opper-Oostenrijk, te Waschenberg. Ondanks de zeer gelimiteerde capaciteit van de kom-oven bleef het type in sommige delen van Europa in gebruik tot de moderne periode, mogelijk voor de productie van kleine hoeveelheden ijzer uit lokaal beschikbare ertsen om aan de directe noden van de lokale gemeenschappen tegemoet te komen (Pleiner 2000, 145-149).

Ook de **koepel-oven** (Fig. 4.5) verschijnt al zeer vroeg in het archeologisch bestand. Dit oventype is in vorm zeer gelijkaardig aan de ceramiek-oven: de reductiezone of -kamer wordt afgesloten door een kleien koepelvormige structuur. Het grondplan van deze ovens is doorgaans ovaal- of cirkelvormig en redelijk groot. De binnendiameter van de haard meet tussen 60 en 140 cm, met een gemiddelde van 100 cm. Het grote formaat is niet bijzonder bevorderlijk wat betreft hitteconcentratie en de circulatie van reducerend gas in de structuur. Er zijn voorbeelden gekend waarbij een schacht boven op de koepel werd geplaatst en als schoorsteen fungeerde. De luchtinlaat situeerde zich aan de bodem van de koepel. Ook bij dit oventype werd een geforceerde luchtstroom voorzien. Er zijn voorbeelden gekend waarbij meerdere blaaspijpen geïnstalleerd werden. Deze installaties kunnen mogelijk geïnterpreteerd worden als een cluster van smelthaarden overbrugd door een gemeenschappelijke

grote koepel, waarbij zich onder elke luchtinlaat een ijzerwolf vormde. De erts en de houtskool werden toegevoegd via de mond van de koepel of schacht. Aan de hand van experimenten wordt de opbrengst van de koepel-oven geschat op 10%, maar ervaren smelters konden waarschijnlijk een hoger rendement halen. De vroegste koepel-oven werd gevonden in Hillesheim, in het Eifelgebied, en werd gedateerd in de Hallstatt/vroege La Tène periode. Dit oventype bleef in gebruik doorheen de gehele La Tène periode in west- en zuid-centraal Europa en lijkt verband te houden met de Keltische traditie van ijzerproductie. Opvallend is dat het corpus van gekende Europese koepel-ovens zowel eerder primitieve als redelijk gesofisticeerde structuren kent, waarvan de efficiëntie van de laatste die van de laagovens evenaart. De grotere exemplaren blijven in gebruik doorheen de vroeg Romeinse periode, voornamelijk in de westelijke gebieden waar de Gallische volkeren zich vestigden, maar werden mogelijk geleidelijk aan vervangen door de laagoven (Joosten 2004, 13 en 23; Pleiner 2000, 163, 166, 170 en 172).

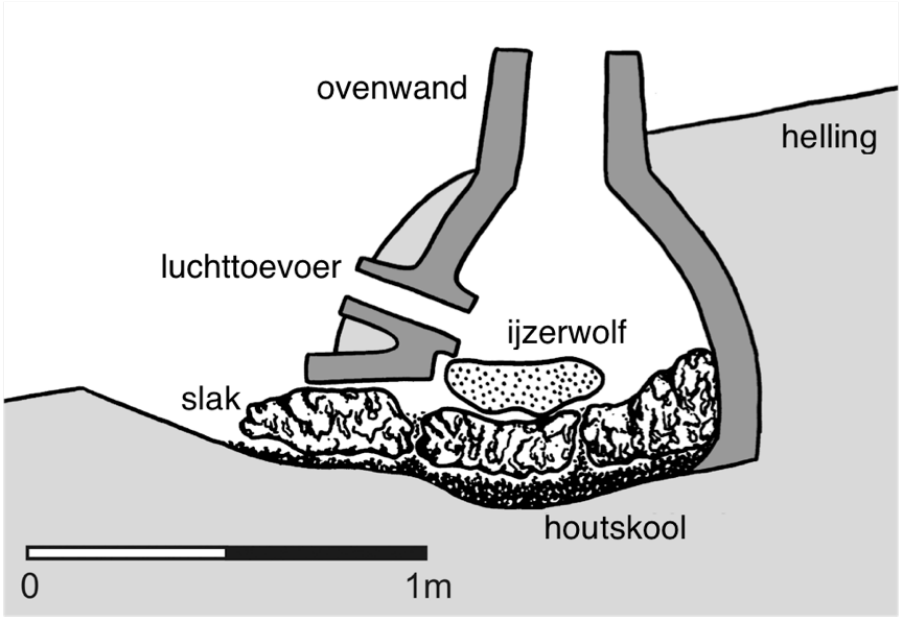


Fig. 4.5: Schematische weergave van een koepel-oven uit de late Hallstatt – vroege La Tène periode, aangetroffen in Neuenbürg (Zwarte woud) (aanpassing van Gassmann & Schafer 2014, Fig. 3).

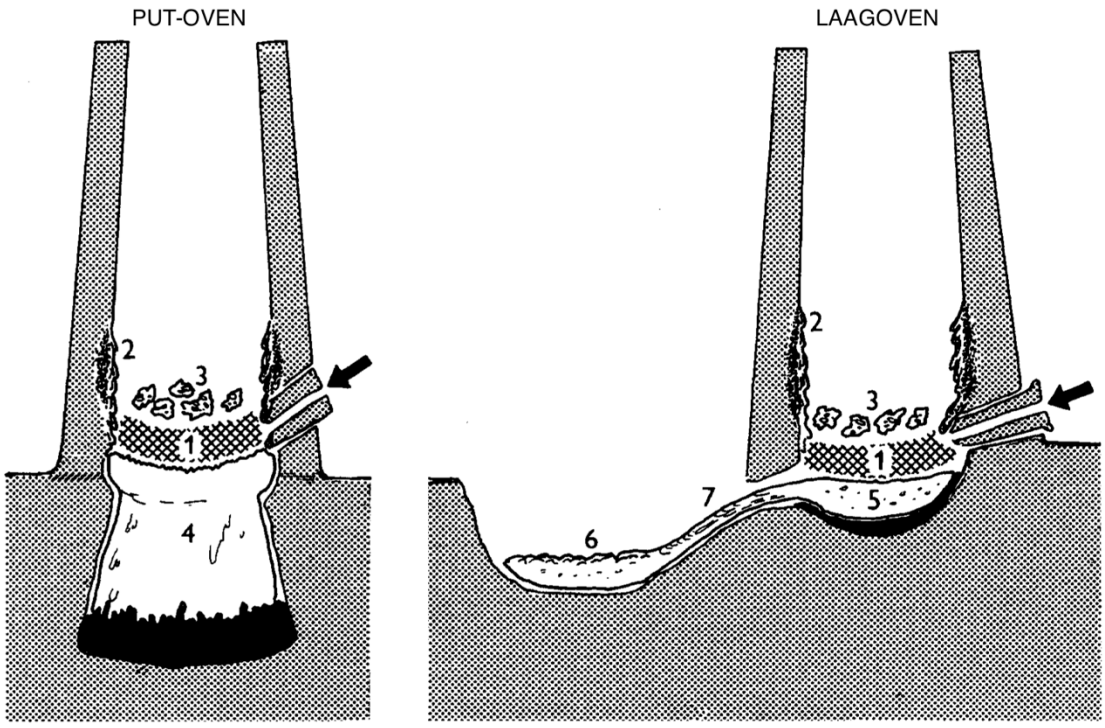
De **laagoven** vertegenwoordigt de meest gekende en technologisch geavanceerde vorm van de (pre)historische reductieovens. Dit oventype was voorzien van een cilindervormige of conische schacht van ca. 80 cm hoog, wat de gewenste hoge temperaturen en reducerende condities voor het reduceren van het ijzererts sterk bevorderde. De luchttoevoer is voorzien onderaan de installatie. De ijzerwolf vormt zich ter hoogte van de blaaspijp en hecht zich er net onder aan de ovenwand. De ijzerslak vloeit door de poriën van het sponzig ijzer naar de bodem van de oven. In tegenstelling tot de oudere oventypes produceerde de laagoven een heterogeen-gecarboniseerd metaal. Het archeologisch bestand in Centraal Europa kent een grote hoeveelheid en zeer uiteenlopende types van laagovens. Zo zijn er waarbij de luchttoevoer voorzien wordt aan de hand van blaasbalgen, en anderen door middel van een opgewekte natuurlijke luchtstroom. Ook op basis van de vorm of opbouw zijn er verschillen. Zo zijn er dik- en dunwandige laagovens, al dan niet versterkt met een externe houten of stenen structuur, of laagovens volledig opgebouwd uit steen. Er zijn er laagovens die volledige vrijstaand waren terwijl andere ondersteund werden door grondophogingen, i.e. bank, of de muren

van de werkplaats (Joosten 2004, 13; Pleiner 200, 172). Op basis van de manier waarop de ijzerslak gehanteerd werd kan echter een primair onderscheid gemaakt worden tussen de aftap-oven en de put-oven. Het gebruik van deze twee oventypes was voor een lange tijd regionaal bepaald.

De oorsprong van de **put-oven** (Fig. 4.6) blijft onduidelijk, maar in Europa was dit oventype in gebruik vanaf het midden van de ijzertijd tot de vroege middeleeuwen. In de periode tussen 150 v.C. en 500 n.C. lijkt de put-oven in het bijzonder de ijzermetallurgie van *Germania Libera* en andere niet-Romeinse territoria te vertegenwoordigen. In onze regio werden put-ovens net buiten de grenzen van het Romeinse Rijk in Nederland aangetroffen, onder andere in het ijzerproductiegebied van de Vecht-regio waar ijzeroer gesmolten werd (1ste-4de eeuw) (Joosten 2004, 32). De put-oven is in principe een type van laagoven waarbij er zich een kuil onder de cilindervormige schacht bevindt. De luchttoevoer situeert zich tussenin deze kuil en de schacht. Ook hier vormt de ijzerwolf zich ter hoogte van de blaaspijp en hecht zich er net onder aan de ovenwand. In tegenstelling tot de aftap-oven werd het slakkenmateriaal niet uit de oven verwijderd tijdens het smeltproces. De slak, dat doorheen het sponsig metaal kan vloeien, wordt opgevangen in de kuil onderaan de oven waar het vervolgens als een massieve blok stolt. De wanden van de ovenkuil waren mogelijk bedekt met klei om inzakking te voorkomen, de kuil droog te houden en voor thermische isolatie. Voordat het smeltproces van start gaat, wordt de kuil opgevuld met organisch materiaal zoals droog hout en strobundels om te voorkomen dat de oven-lading meteen de kuil opvult. Tijdens het proces brandt de vloeibare slak de brandbare vulling weg en vult vervolgens de kuil op. Het nadeel aan de put-oven was echter de beperkte capaciteit: wanneer de slakkuil vol was kwam het proces tot een einde. In sommige productiegebieden werden deze ovens enkel voor eenmalige smeltprocessen gebruikt, maar toch zijn er ook voorbeelden waarbij de oven meerdere keren hersteld werd. Om opnieuw te smelten werd de slak-kuil geledigd. Hiervoor diende de schacht verwijderd of gedeeltelijk afgebroken te worden. De put-oven was een opmerkelijke installatie en vertoonde een zeer grote variatie in vorm en constructie. Er zijn indicaties dat in sommige gevallen de schacht verplaatsbaar was. Ook de omvang van de ovenkuilen kan danig verschillen, van een diameter van 35-40 cm en een diepte van 40 cm waarin ongeveer 20-25 kg slak geproduceerd werd, tot een diameter van ca. 80 cm en een diepte van 90 cm met als resultaat slak-blokken die tot 450 kg kunnen wegen. De vroegste exemplaren uit de ijzertijd waren opmerkelijk kleiner en produceerden ovenslakken van slechts 10 tot 20 kg. De opbrengst van dit oventype wordt geschat op 25%. In de put-ovens uit de ijzertijd produceerde men dus een ijzerwolf van ca. 2,5 tot 5 kg (Joosten 2004, 13-14, 25 en 31; Pleiner 2000, 149-150 en 152).

Gelijktijdig aan de put-oven was ook de **aftap-oven** (Fig. 4.6) in gebruik. De aftap-oven is het best gekende type van laagoven. Nadat de ijzerslak door de poriën van het sponzig ijzer naar de bodem van de oven is gevloeid, wordt het slakkenmateriaal tijdens het smeltproces uit de installatie verwijderd door het in vloeibare vorm af te tappen of in een stroperige toestand uit de oven te harken. In beide gevallen werd dit verwezenlijkt via een opening in de ovenwand ter hoogte van het maaiveld. Gezien de slak zich niet meer in de oven opstapelde, betekende dit dat het productieproces in theorie geen limieten kende, wat wel het geval was bij voorgaande ovenconstructies. Het rendement van de aftapoven ligt tussen 30 en 50%. Dit oventype is mogelijk gebaseerd op de meer geavanceerde koper metallurgie, waarbij aftapovens gebruikt werden sinds de tweede helft van het 2de millennium v.C. De aftapoven was in Europa in gebruik vanaf de late ijzertijd tot de late middeleeuwen, en is kenmerkend voor de belangrijke productiegebieden in de Romeinse provincies. Na de val van het Romeinse rijk geraakte dit oventype ook buiten de grenzen van het Romeinse rijk in gebruik. De zeer herkenbare

vloeislakken zijn wijdverspreid aangetroffen op de middeleeuwse nederzettingen in onze regio (Joosten 2004, 13, 26; Pleiner 200, 172).



Schematische weergave van de scheiding van de ijzerwolf en het slakkenmateriaal en de vorming van de ijzerslak in de put-oven (links) en de laagoven of aftapoven (rechts).
1. ijzerwolf doordrongen met ijzerslak
2. verglaasde ovenwand of ovenbekleding
3. brokken ijzerslak met incluesies van houtskool en ongereduceerd erts
4. slakblok gestold in de kuil van de kuil-oven
5. ovenbodem: plano-convexe ijzerslak die soms achterblijft in de komvormige haard onderaan de aftap-oven
6. plano-convexe vloeislak: afgetapte ijzerslak gestold in een komvormige uitdieping voor de oven
7. vloeislak: laatste ijzerslak gestold in het aftap-kanaal, vaak slechts bewaard als fragmenten

Fig. 4.6: Schematische weergave van de put- en aftap-oven (aanpassing van Pleiner 2000, Fig. 67).

De verschillende oven-types kenden een technologische vooruitgang. De evolutie van de kom-oven naar de koepel-oven en laag-oven verbeterden zowel het rendement en de opbrengst van het ijzerproductieproces. Zowel de koepel- en de put-oven maken het mogelijk om een betere scheiding van het metallisch ijzer te realiseren dan in de kom-oven, en konden een consistentere ijzerwolf produceren. Het rendement van het proces verbeterde naar 8-9% in de koepel-oven en 25% in de put-oven. De toepassing van de put-oven maakte het mogelijk om de slak uit de reductiezone te verwijderen waardoor extra erts en houtskool toegevoegd kon worden tot de slakkuil volgelopen was, met een hogere opbrengst als gevolg. De plaatsing van meerdere blaaspijpen in de koepel-oven resulteerden in de vorming van een ijzerwolf onder elke luchtinlaat, waarbij de opbrengst van een enkel reductieproces eveneens aanzienlijk verhoogd kon worden. De aftap-oven, tenslotte, maakte het mogelijk om de slak tijdens het ijzersmelten uit de oven te verwijderen. De erts en houtskool konden bij wijze van spreken eindeloos toegevoegd worden. De opbrengst van een enkelvoudig proces bereikte zo tot 30-50% (Joosten 2004, 25-26).

4.3.2 De haarden

Archeologische opgravingen van ijzerproductiesites uit vrijwel alle perioden hebben geregeld elementen blootgelegd die geïnterpreteerd werden als verhittingshaarden. Deze installaties hebben doorgaans een platte open vorm, die niet geschikt is voor het creëren van reducerende condities noodzakelijk voor het smelten van ijzererts. Ze zijn ook groter in omvang dan de reductieovens. De wanden vertonen doorgaans weinig of geen verslakking of verglazing maar de vulling bevat houtskool en kleine fragmentjes en/of grotere brokken ijzerslak. Wanneer deze installaties gevonden werden als onderdeel van een complex dat getuigt van metallurgische activiteiten is er een grote waarschijnlijkheid dat deze inderdaad verhittings- of smeedhaarden waren. Maar wanneer deze alleen voorkomen of als een groep van uitsluitend installaties van dit type bestaat er toch enige onzekerheid over de omschrijving en interpretatie van deze elementen. Strikt genomen is er immers geen bijzondere constructie noodzakelijk voor het opnieuw verhitten van de ijzerwolf of het smeden van het ijzer. Met een houtskoolhoop en een luchtstroom aangedreven door blaasbalgen zouden de benodigde condities al verwezenlijkt kunnen worden. Deze opstelling zou weinig of geen bewijs nalaten in het archeologische bestand. Enkel het herhaald gebruik en uitkuisen van dezelfde plek zou resulteren in een holte of ondiepe kuil met roodverbrande ondergrond. In zandige gronden zal deze verbrande laag veelal verdwijnen. Soms werd echter bewust een inzinking in de bodem gebruikt om de brandstof samen te houden en de hitte te bundelen. Deze zouden herkend kunnen worden als kuilen bedekt met klei of platte stenen (Pleiner 2000, 215-216).

De aangetroffen verhittingshaarden variëren aanzienlijk in omvang. Dit leidt wel eens tot de suggestie dat mogelijks twee soorten haarden gebruikt werden, afhankelijk van verschillende stappen in het verhitten en bewerken van de ijzerwolf. De eerste stap, de raffinage, betreft het verhitten van de ijzerwolf met als specifiek doel het smelten en uitdrijven van het ingesloten en vastgehecht slakkenmateriaal. Het heropwarmen van grote en hevig verslakte ijzerwolven, mogelijk meerdere in eenzelfde onderneming, vereisten grotere haarden. De vulling van deze haarden bevatte mogelijks onregelmatige brokken gestolde reductieslakken en hamerslak afkomstig van het hete ijzer metaal. De tweede stap, het opnieuw verhitten en smeden van kleinere stukken ijzer-slak-conglomeraat om een meer compacte ijzerwolf of staaf te produceren, vereiste slechts een installatie gelijkaardig aan een smeedhaard, met een diameter van ca. 40 cm. Hierbij werd een ander slaktype gecreëerd, dat bestaat uit een grote hoeveelheid gesmolten hamerslak en de zandige en kalkrijke fluxen, en met slechts een minimale fractie van de originele reductieslak. Dit afvalproduct stolde als plano-convexe cakes. Ook ongesmolten hamerslak en kleine fragmentjes metallisch ijzer, welke beide magnetisch zijn, kunnen onder het afval voorkomen. Deze resten zijn karakteristiek voor het smeden en worden gevonden op eender welke locatie waar de smid regelmatig aan het werk was (Pleiner 2000, 215-216).

Verhittingshaarden zijn moeilijk te identificeren in het archeologisch bestand, en de smeltovens zijn doorgaans slecht bewaard. Kleinere fragmenten van hevig verglaasd aardewerk worden wel regelmatig aangetroffen tussen de metallurgische overblijfselen. De hoge temperaturen in de reductieoven zorgen voor een sterke verglazing van de ovenwand, wat zich gewoonlijk beperkt tot de zone boven het luchtgat. In de andere zones zal de klei in verschillende gradaties doorbakken zijn. De binnenzijde van de ovenwand kan verglaasd zijn tot op 10 mm of meer. Wanneer meerdere lagen van verglazing zichtbaar zijn, werd de oven waarschijnlijk hersteld. De binnenzijde van de ovenwand kan ook bedekt zijn met een slaklaag. De buitenzijde is gewoonlijk bewaard en eveneens gebakken, rood

geoxideerd of grijs gereduceerd afhankelijk van de initiële locatie van het aardewerkfragment in de ovenstructuur (Crew 1995, 1-2). Desondanks hun fragmentarisch karakter kunnen de stukken verglaasd aardewerk nuttige informatie geven over het aantal en de vorm van de ovens, zoals het profiel en de grootte, het systeem voor de luchttoevoer (artificieel of natuurlijk) en de methode waarmee de slak uit oven de verwijderd werd. Deze aspecten kunnen een indicatie zijn voor de schaal van productie en specifieke technologische tradities in een bepaalde regio (Crew 1995, 2; Martinón-Torres & Rehren 2014, 111). Het is echter niet altijd eenvoudig om enkelvoudige fragmenten toe te schrijven aan een oven- of haardstructuur. Ook bij het smeden worden zeer hoge temperaturen beoogd, die kunnen leiden tot een aanzienlijke verglazing van de haardbekleding. Sites waar het reductieproces plaatsvond produceren doorgaans grotere hoeveelheden dan de sites waar enkel gesmeed werd, en de graad van verglazing kan veel hoger zijn. Dit is echter afhankelijk van zowel de hittebestendigheid van het aardewerk en de oorspronkelijk plaats van het fragment in de oven of haard. De minder goed doorbakken delen van de haardbekleding en ovenstructuren blijven zelden bewaard, wat kan leiden tot een misinterpretatie van de dikte van de ovenwanden (Crew 1995, 2). Ook fragmenten van blaaspijpen vervaardigd uit aardewerk worden wel eens gevonden. Het uiteinde dat in de oven stak verglaasde en verslakte gewoonlijk aanzienlijk, of verbrandde zelfs gedeeltelijk (Crew 1995, 2; Joosten 2004, 15).

4.4 De grondstoffen

4.4.1 IJzererts

De productie van ijzer vereist een aanzienlijke hoeveelheid ijzererts en brandstof. Voor de reductie van 1 kg ijzererts is minstens 0,5 kg houtskool nodig. Meestal was er voldoende ijzererts aanwezig, maar de beschikbaarheid van houtskool was eerder gelimiteerd. Bepaalde eigenschappen maken het ijzererts geschikt voor het gebruik in het reductieproces: het ijzergehalte van het erts, de reduceerbaarheid van het erts en de chemische samenstelling van het ganggesteente. Enkel bepaalde ijzerverbindingen konden worden gebruikt in de vroegste ijzerproductie, i.e. ijzeroxiden, ijzerhydroxiden en ijzercarbonaten. Voor andere verbindingen zoals ijzersilicaten waren zeer hoge temperaturen nodig, die niet behaald konden worden (Joosten 2004, 10). Met de huidige kennis en technieken worden ertsen met slechts 20-30% ijzer gezien als geschikte ijzerertsen. In het (pre)historisch ijzersmelten werd, naast het metallisch ijzer, een slak geproduceerd die tot 40-50% ijzer bevatte. Dit ijzer maakt deel uit van fayaliet en ijzeroxide die noodzakelijk zijn voor het vormen van een goede slak. Het slakkenmateriaal maakt het mogelijk om de ongewenste ertsmineralen te scheiden van het gewenste metaal. Het ijzergehalte van het erts diende bijgevolg voldoende hoog te zijn, minimaal 50% ijzer, om voldoende ijzer te hebben om tot metaal te kunnen reduceren. Een voorbehandeling van het erts door manuele selectie, wassen en roosteren kon het gehalte bevorderen (Craddock 2003, 233; Joosten 2004, 10).

De reducerende reactie vindt plaats op het oppervlak van de ijzerverbinding. Hierdoor wordt de reduceerbaarheid van het erts bepaald door de porositeit. Deze neemt toe wanneer het erts geroosterd wordt. Het roosteren is een proces waarbij brokken erts verhit worden in een vuur tot op temperaturen van ca. 400-800°C, met een vrije doorloop van zuurstof. Dit resulteerde enerzijds in een chemische transformatie van non-oxide (bijvoorbeeld carbonaten en sulfiden) naar oxide ertsen, welk

het meest geschikt waren voor het smelten, maar dit had ook een positieve impact op de fysieke eigenschappen van de ertsen, aangezien de porositeit verhoogd werd. Het roosteren van hydroxide ertsen zorgt ook voor het verwijderen van het water (Joosten 2004, 11; Pleiner 2000, 107-108). Ook de samenstelling van het ganggesteente is belangrijk. Er dient voldoende ijzer en silica aanwezig te zijn om fayaliet ($2FeO.SiO_2$) te vormen, de hoofdcomponent van de ijzerslak. Het slakkenmateriaal doet immers dienst als drager van de metalen deeltjes en veroorzaakt de vorming van de ijzerwolf. De mineralen in het ganggesteente zijn voornamelijk SiO_2, in combinatie met andere oxiden zoals Al_2O_3, CaO, MgO, MnO en P_2O_3. IJzererts is echter meestal zelf-fluxing, i.e. de elementen in het ganggesteente en het ijzeroxide zijn in de juiste stoichiometrie (verhouding) om een fayalitische slak te vormen met een laag smeltpunt. Indien nodig kunnen vloeimaterialen met relevante elementen toegevoegd worden. Bepaalde elementen zoals calcium (Ca), magnesium (Mg) en mangaan (Mn) kunnen eventueel het ijzer in de slak vervangen, waarbij het rendement van het smeltproces verhoogd wordt (Joosten 2004, 11).

In tegenstelling tot non-ferro mineralen zijn ijzerertsen uitzonderlijk wijdverspreid. IJzer is immers het meest voorkomende niet-gasvormig element in de aardkost, met uitzondering van silica en aluminium. IJzermineralen kunnen, net zoals de non-ferro mineralen, oxiden of sulfiden zijn. Vele van de oxide-ertsen zijn afkomstig van sulfiden. Zwavel (S) is echter een zeer nadelig element in ijzer en mag bij voorkeur maximaal 1% van het metaal omvatten. Daarom worden de massieve afzettingen van pyriet (FeS2) en andere sulfide ertsen zoals marcasiet en pyrrhotiet doorgaans uitgesloten als een bron van ijzererts. Toch wezen enkele onderzoeken uit dat deze sulfide ertsen succesvol kunnen wijzigen naar oxide ertsen aan de hand van natuurlijke verwering of roosteren (Pleiner 2000, 89; Tylecote 1987: 48). In Europa werden verschillende types van ijzererts gebruikt in de (pre)historische ijzerproductie. Enkele van deze worden hier overlopen aan de hand van de best gekende productiesites. In de Holy Cross Mountains, in Centraal Polen, werd van de ijzertijd tot de Romeinse periode ijzer vervaardigd uit *gossan*. Dit is een rijke afzetting van ijzer(hydr)oxiden die is gevormd door de oxidatie van ijzersulfiden zoals pyriet. In de Weald, Zuidoost-Engeland, werden ijzercarbonaat ($FeCO_3$) ertsen gebruikt in de Romeinse periode. Ook rots-ertsen zoals hematiet (Fe_2O_3) en magnetiet (Fe_3O_4) werden gebruikt. Ze zijn rijk in ijzer maar moeilijk te reduceren door de hoge dichtheid van de materie. Het erts moest waarschijnlijk verbrijzeld worden om te kunnen dienen. Hematiet van het eiland Elba werd gebruikt in de nabijgelegen midden-late ijzertijd productiesite te Populonia in Italië (Joosten 2004, 11; Tylecote 1987, 48-52). Doorheen Europa en Scandinavië, en zo ook in onze gebieden, werden sinds de late ijzertijd voornamelijk afzettingen van ijzeroer gebruikt in de ijzerproductie. Dit type ijzererts heeft zich gevormd door de oxidatie van opborrelend ijzerrijk water, waarbij ijzer(hydr)oxiden zoals goethiet en limoniet neerslaan. Ze kunnen wat mangaan, fosfor en arseen bevatten. IJzeroer is relatief gemakkelijk te reduceren en zowel het ijzergehalte en de porositeit worden aanzienlijk verhoogd na het roosteren. Van nature is het ijzeroer het meest voorkomend in de natte delen van Europa, maar het is ook terug te vinden in Spanje en Israël (Joosten 2004, 11; Pleiner 2000, 88; Tylecote 1987, 52).

4.4.2 Houtskool

Houtskool was de beste brandstof voor de productie van ijzer. Het heeft een hoge verbrandingswaarde en bevat bijna geen elementen die nadelig kunnen zijn voor het metallisch ijzer, zoals fosfor (P) en zwavel (S). Daarenboven is het een sterk reducerend agens met een hoge affiniteit voor zuurstof.

Houtskool wordt geproduceerd door de gedeeltelijke verbranding van hout bij een minimale luchttoevoer. Zo worden de vluchtige hydrocarbonaten verwijderd en blijft enkel het niet-vluchtige carbonaat over (Joosten 2004, 12; Pleiner 2000, 115).

Traditioneel werd houtskool gemaakt in houtskoolmeilers, in een kuil of als vrijstaande stapels bedekt met plaggen en aarde. Het branden van houtskool werd doorgaans uitgevoerd op temperaturen tussen 400 en 600°C. Het is waarschijnlijk dat bepaalde houtsoorten gebruikt werden, zoals lokaal hardhout, eik en beuk, dewelke een hoog koolstofgehalte hebben en een stevig houtskool opbrachten. Toch kunnen alle houtsoorten gebruikt worden. Wanneer nodig werd het hout versneden en gekliefd, en dan voor enkele maanden te drogen gelegd. Vervolgens werd het losjes opgestapeld in verschillende lagen en bedekt met plaggen. In het midden van de hoop werd een rookkanaal vrijgelaten waarlangs men de luchttoevoer kon controleren tijdens het branden. Afhankelijk van de hoeveelheid hout kon het proces tot enkele weken duren. De hoeveelheid van het hout opgestapeld en gebrand in een meiler kon variëren tussen 10 tot 150 m^3. Afhankelijk van het type hout dat gebruikt werd, kon 1 m^3 droog hout tot 55% bij volume in houtskool opbrengen, wat overeenkomt op 16-20% van het gewicht van het hout (Joosten 2004, 12; Pleiner 2000, 118).

4.5 Slakken en ander productieafval

Verhittingshaarden zijn moeilijk te identificeren in het archeologisch bestand, en de smeltovens zijn doorgaans slecht bewaard. Ook de ijzerwolf wordt normaliter niet gevonden op de sites waar ijzer geproduceerd werd. Het vormt immers het beoogde eindproduct dat verder bewerkt dient te worden tot een voorwerp. Een duidelijke aanwijzing van de aanwezigheid van metallurgische activiteiten beperkt zich bijgevolg tot de aanwezigheid van ijzerslakken en eventueel ander productieafval zoals fragmenten van de verglaasde ovenwand, haardbekleding of brandstofasse.

Metaalslakken zijn het afvalproduct van het metallurgisch productieproces en zijn opgebouwd uit de ongewenste mineralen van het erts (i.e. het ganggesteente), de eventueel toegevoegde vloeimaterialen en mogelijks restanten van de brandstof en oven- of haardwand. Bij het stollen bestaat de slak voornamelijk uit ijzersilicaten ($2FeO.SiO_2$, fayaliet), ijzeroxide (FeO, wüstiet en Fe_3O_4, magnetiet) en glas. De hoeveelheid van fayaliet en ijzeroxide is afhankelijk van de verhouding tussen ijzer en silica in de ovenvulling, i.e. het erts en de eventueel toegevoegde vloeimaterialen. De hoeveelheid glas wordt dan weer bepaald door de overige oxiden die oorspronkelijk aanwezig waren. In de productie van andere metalen is het ijzer in het erts een onzuiverheid en kan het in zijn volledigheid dienen in de vorming van de slak. Desondanks dat ijzer geen onzuiverheid is in de productie van ijzer, bevatten ook ijzerslakken ca. 40-50% ijzer. Dit ijzer maakt deel uit van de fayaliet en ijzeroxide die noodzakelijk zijn voor een goede slak. Dit betekent dat het erts zelf meer dan 50% ijzer moest bevatten voordat het productieproces economische interessant was (Craddock 2003, 233; Duijvenvoorde 2006, 88; Joosten 2004, 9).

Afgelopen decennia zijn vele pogingen ondernomen om een morfologische classificatie uit te werken voor ijzerslakken op basis van de vormen en oppervlakte kenmerken. Dit leidde tot uiteenlopende systemen, die grotendeels bepaald zijn door de ervaring in het behandelen van metallurgisch restafval. IJzerslakken zijn zonder twijfel een zeer complexe materie. De interpretatie van dit vondstmateriaal

wordt bemoeilijkt door het feit dat hun uiterlijk vaak wordt beïnvloed door allerhande postdepositionele processen. Secundaire corrosieproducten kunnen de kleur en oppervlaktetextuur wijzigen en in extreme gevallen zelfs de gehele morfologie van de slak veranderen. Laten we toch een algemeen overzicht geven van de primaire reductieslakken, het afvalproduct in het reductieproces van ijzererts tot metallisch ijzer, en de secundaire raffinage en/of smeedslakken die resulteren uit het zuiveren van de ijzerwolf en het smeden van het ijzer (Crew 1995, 2; Pleiner 2000, 257).

4.5.1 Reductieslakken

Doorgaans worden de reductieslakken vermengd aangetroffen als een storthoop in de nabijheid van de locatie waar het smeltproces plaatsvond. Zeer weinig slakken worden *in situ* aangetroffen. Wanneer een ophoping alsnog aangetroffen wordt in de haard van de oven, dan is het zeer waarschijnlijk dat het proces niet succesvol was en de oven vervolgens verlaten werd. De meest voor de hand liggende methode in de beschrijving en interpretatie van metaalslakken is het leggen van het verband met het smeltproces en de opbouw en werking van de oven. Doorgaans vloeit de slak doorheen de poriën van de ijzerwolf naar de bodem van de oven, alwaar deze al dan niet in de ovenhaard afkoelt of uit de installatie verwijderd wordt. Dit resulteert in diverse types van slakken met bepaalde morfologische kernmerken. De meest herkenbare slakken zijn de tap- of vloeislak en de put-ovenslak of slakblok. De ovenslak of ovenbodem zijn moeilijker van elkaar te onderscheiden (Crew 1995: 2; Joosten 2004: 16; Pleiner 2000: 257).

In de laagoven werd de ijzerslak in de finale fase van het smeltproces uit de ovenhaard verwijderd en vervolgens onderworpen aan variabele afkoeling- en oxidatiecondities. Wanneer de slak als een vloeibare massa uit de oven werd getapt, vertoonde deze slak een kenmerkende touwachtige vloeistructuur, i.e. de **vloeislak** (*tap slag*, Fig. 4.7). Vloeislakken worden occasioneel *in situ* naast de oven aangetroffen, maar vaker als brokken en fragmenten op een hoop. Vloeislakken kunnen sterk variëren in omvang en zeer bizarre vormen aannemen. Ze kunnen voorkomen als enkelvoudige afvloeiingen van een paar 100 g en als ophopingen van 10 kg of meer. Wanneer de gesmolten slak bij het aftappen naar een ondiepe kuil naast de oven wordt geleid, dan kan dit slaktype in de vorm van een ronde cake of discus stollen, waarbij deze de eventueel bolvormige bodem van de uitdieping aanneemt. Geregeld behouden ze ook de U- of V-vorm van het vloeikanaal. Het oppervlak van vloeislakken kan gerimpeld of vlak zijn, afhankelijk van de snelheid waarop de slak uit de oven is gevloeid. Het voorkomen van een rode verkleuring is het resultaat van oppervlakkige oxidatie van de slak wanneer deze voor enige tijd in de opening van de oven blijft liggen. De onderzijde vertoont geregeld resten van zand of klei, houtskool en andere inclusies. Vloeislakken bestaan doorgaans uit een compacte of vrij homogene materie met een donkergrijs-zwarte kleur met blauwe schijn en weinig of geen inclusies. Ondanks de lage porositeit bevatten ze wel grote langwerpige luchtbellen door het snelle afkoelproces. De breuk is eerder dof van kleur maar scherp. Kalkrijke ertsen zullen resulteren in vloeislakken met een lagere dichtheid, een bleker gekleurd oppervlak en een zwarte verglaasde beuk (Crew 1995, 3; Joosten 2004, 17; Pleiner 2000, 262; Schuerman 1996, 186-187). Wanneer de slak als een stroperige massa uit de laagoven wordt geharkt, neemt deze een eerder onregelmatige vorm aan. Er zijn enkele sites waar **geharkte slakken** *(raked slags)* aangetroffen werden. Deze kunnen de vorm aannemen van erg misvormde brokken, of eruitzien als kleine onregelmatige schijven, indien de slak iets vloeibaarder was (Crew 1995, 3; Pleiner 2000, 257).

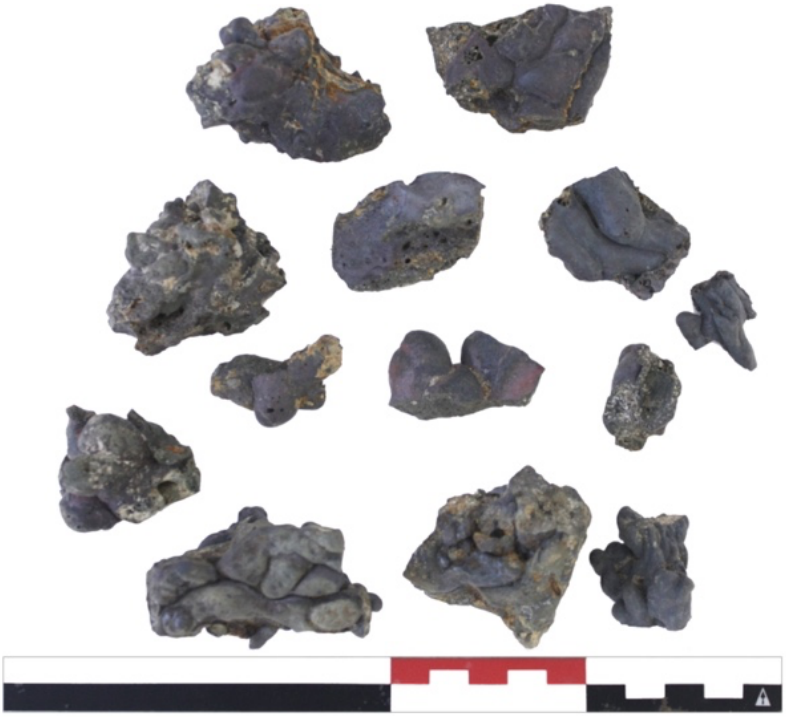


Fig. 4.7: Voorbeelden van vloeislakfragmenten afkomstig van Nijlen-*Mussenpad*.

In de kom- en koepeloven werd het slakkenmateriaal niet uit de oven verwijderd tijdens het smeltproces en verzamelde het zich op de bodem van de oven, onder de ijzerwolf, waar het stolde tot de **ovenslak** *(furnace slag)*. Ovenslakken omvatten de volledige slakinhoud van deze ovens, wat overeenkomt met de totale hoeveelheid slak die tijdens het proces gevormd werd. Daar in de kom- en koepeloven gewoonlijk geen volledige scheiding van het metaal en de slak verwezenlijkt kon worden, zijn deze ovenslakken dikwijls rijk in ijzer en sterk magnetisch. Wanneer ze worden aangetroffen op de archeologische site zijn ze daarom gewoonlijk sterk gecorrodeerd en is hun oorspronkelijke textuur en vorm verloren gegaan. In essentie zijn deze ovenslakken een accumulatie van slakkenmaterie en kunnen ze zeer uiteenlopende afmetingen en vormen aannemen. Afhankelijk van de vloeibaarheid van de slak varieert het uitzicht van deze ovenslakken van een eerder samengeklonterde tot een egale massa. Ze kunnen ook inclusies van deels gereduceerd erts bevatten. Vele van de ovenslakken zijn *in situ* aangetroffen, maar ook in afvalhopen en rondom de overblijfselen van de ovenstructuur. Voor de oventypes zoals de kom- en koepeloven is de ovenslak het meest kenmerkende afvalproduct. Deze kan in relatief grote hoeveelheden voorkomen. Ze zijn echter niet altijd gemakkelijk te determineren en worden geregeld geclassificeerd als “onbepaald” (*un-classified slags*) (Crew 1995, 3).

Ovenslakken kunnen ook de vorm van de ovenhaard overnemen en dus voorkomen als plano-convexe **ovenbodems**. De afmetingen en het gewicht van deze ovenbodems zijn afhankelijk van de omvang van de ovenhaard. De bovenzijde van de ovenbodemslakken heeft een plat gebroken oppervlak dat resten van de ijzerwolf kan bevatten. Ze kunnen inclusies van semi-gereduceerd erts, houtskool en de ovenbekleding bevatten. In de doorsnede heeft de slakkenmaterie een grijs/zwarte kleur en een fijnkorrelige samenstelling, met een toename van porositeit naar onder toe. De plano-convexe ovenbodem komt zowel in de ijzertijd als de Romeinse periode voor, maar lijkt voornamelijk een pre-

Romeins product en kan dus hoofdzakelijk aan de kom- en koepel-ovens gerelateerd worden. Ook de latere aftap-oven produceerde ovenbodems. In dit geval betreffen deze slechts het overblijvende slakmateriaal dat zich verzamelde op de bodem van de oven, onder de opening waarlangs de slak uit de installatie vloeide of geharkt werd (Crew 1995, 3; Joosten 2004, 16; Pleiner 2000, 257 en 262-263; Schuerman 1996, 186; Tylecote 1987, 311).

In de putoven werd het slakkenmateriaal verzameld onderaan de oven, zij het in een grote ondergrondse kuil, waardoor de scheiding van het ijzer en de slak wel zo goed als mogelijk gerealiseerd werd. **Putovenslakken** *(slag-pit blocks)* zijn zware cilindervormige of conische slakblokken die gezien kunnen worden als afgietsels van de diepe haard van de put-oven. Dit slaktype wordt geregeld *in situ* aangetroffen, in de kuil. De put-ovenslakken vertonen een gestolde botryoïdale (i.e. cluster van bolvormige deeltjes) structuur aan de onderzijde. In de zijkanten is soms een horizontale gelaagdheid zichtbaar als gevolg van een discontinu smeltproces. Het oppervlak aan de bovenzijde is ruw en onregelmatig en kan resten van de ijzerwolf bevatten. Bovenaan kunnen ook niet-gereduceerde of gesinterde ertsdeeltjes waargenomen worden. De afmetingen van de putovenslakken zijn afhankelijk van de grootte van de ovenhaard, maar hebben een minimale diameter van 30 tot 80 cm en een hoogte van 20 tot 50 cm. Deze nemen toe doorheen de tijd. Het gewicht van de slakken uit de vroegste putovens bedraagt gewoonlijk niet meer dan 15-20 kg, maar vanaf de laat-Romeinse periode kunnen de slakken tot 100 kg wegen. De put-oven was veelvoorkomend in de oostelijke Keltische en Germaanse gebieden in Europa tijdens de La Tène en Romeinse periode en de vroege middeleeuwen. In onze regio werden put-ovens en put-ovenslakken net buiten de grenzen van het Romeinse Rijk in Nederland aangetroffen, onder andere in het ijzerproductiegebied van de Vecht-regio (1ste-4de eeuw). Dit oven- en slaktype is echter niet te verwachten in de regio van de Antwerpse Kempen daar deze tot de Romeinse gebieden behoren (Joosten 2004, 16 en 30-31; Pleiner 2000, 259; Tylecote 1987, 311).

Het reductieproces brengt echter ook heel wat ander slakmateriaal met zich mee, dat de vorm kan hebben van druppels of afvloeiingen, maar ook kan voorkomen als ruwe samengesmolten brokken of poreuze fragmenten. Deze ovenslakken, in zekere zin, zijn doorgaans het resultaat van de vroegste en laatste ovenladingen en kunnen bijgevolg heel wat houtskool en resten half- of volledig gereduceerd erts bevatten (Pleiner 2000, 263). Bijvoorbeeld, in de vroegste stadia van het proces, voordat de ijzerwolf zich heeft gevormd, kan wat van het erts en tussenproducten door de oven naar de bodem zakken. Er zijn zo kleine fragmenten slak die tot in de koudere houtskoollagen onderaan vloeien en daar stollen. Gewoonlijk smelt de meerderheid van deze slakken samen tot grotere gehelen, dewelke ook gezien kunnen worden als ovenslakken die tot 500 g of meer kunnen wegen. De grote stukken zijn vaak niet erg stevig en kunnen in fragmenten gebroken worden met scherpe breuken. Sommige van deze ovenslakken zijn redelijk compact, maar anderen kunnen veel minder compact zijn met een variabele hoeveelheid aan luchtbellen (Crew 1995, 2-3). Naar het einde van het proces toe, wanneer de onderste zone van de oven heet genoeg is, zijn er enkelvoudige vloeiingen van slak die de bodem van de oven bereiken voordat ze gestold zijn. Deze zijn zeer gelijkaardig aan de vloeislakken, maar betreffen slechts een zeer klein aandeel van de slakken in kwestie (Crew 1995, 3).

4.5.2 Smeedslakken

De raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het ijzer brachten eenzelfde soort afvalmateriaal voort, dat doorgaans gemakkelijk te onderscheiden is van de reductieslakken. **Raffinageslakken** bevatten het slakkenmateriaal dat van het oppervlak en uit de poriën van de ijzerwolven werd verwijderd door het opnieuw verhitten en hameren van de ijzerwolf. **Smeedslakken** zijn het product van het smeden van het ijzer, waarbij nog steeds overtollig slakkenmateriaal uit het metaal gedreven wordt. Het blijft echter problematisch om de raffinage- en de smeedslakken van elkaar te onderscheiden, wat ook hier niet beoogd zal worden. Dit onderscheid is mogelijks wel te maken op basis van mineralogische criteria (Joosten 2004, 18; Pleiner 2000 255; Schuerman 1996, 187-188).

Het meest herkenbare afvalproduct van zowel de raffinage als het smeden is de **smeedhaardbodem** (*smithing hearth bottom/plano-convex bottom, PCB*, Fig. 4.8). Deze vormt zich net onder het luchtgat, waarbij hij zich aan de wand van de haard hecht. Smeedhaardbodems zijn doorgaans bijna cirkelvormig met een plano/concaaf-convex profiel, i.e. met een bolvormige onderzijde en een platte of eerder concave bovenzijde. De onderzijde is vaak gewelfd of gelobd, terwijl de bovenzijde gekenmerkt kan zijn door een gegolfde rand of kroon door de luchtstroom. De smeedhaardbodems kunnen echter ook eerder onregelmatige vormen aannemen, door de ophoping van bijkomend slakkenmateriaal dat niet volledig opgenomen wordt. De oppervlaktetextuur kan variëren van een ruwe opeenhoping naar duidelijke vloeiende vormen. Vele smeedhaardbodems vertonen een glazig oppervlak, terwijl andere zijn bedekt door bruine roestkorsten. De textuur van de dwarsdoorsnede is fijnkorrelig en glad tot zeer poreus en in de meeste gevallen gelaagd. De slakcakes vormen zich zelden op de haardbodem, maar op een bedje van brandstof, en hechten zich aan de haardwand. Zo kunnen geregeld resten of fragmenten van de bekleding van de haard op de slak achterblijven en aan de onderzijde houtskoolinclusies en -afdrukken waargenomen worden. Occasioneel zal de bodem van de slak resten van de haardbekleding, klei of stenen opnemen, wanneer deze gevormd wordt in een zeer ondiepe haard. In tegenstelling tot de reductieslakken bevatten deze smeedhaardbodems slechts heel weinig resten van het ertsmateriaal. Ze zijn doorgaans ook magnetisch, soms zelfs sterk magnetisch, aangezien ze fragmentjes ijzer kunnen bevatten. Op de bovenzijde kunnen ook kleine fragmentjes hamerslak waargenomen worden. Smeedhaardbodems hebben een diameter van tientallen millimeters tot tientallen centimeters, een dikte van 10 tot 100 mm, en een gewicht tussen een tiental gram en een paar kilogram. Op éénzelfde vindplaats kunnen dus talrijke morfologische varianten van smeedhaardbodems aanwezig zijn. Smeedhaardbodems worden regelmatig aangetroffen op diverse soorten archeologische vindplaatsen uit verschillende perioden (Crew 1996, 1-2; Pleiner 2000, 255; Schuerman 1996, 188-189).



Fig. 4.8: Voorbeeld van een doorsneden smeedhaardbodem afkomstig van Nijlen-*Mussenpad*.

Serneels & Perret (2003) hebben aan de hand van een uitgebreide studie de verscheidenheid in vorm, omvang en andere fysieke eigenschappen van de smeedhaardbodems trachten uiteen te zetten, zoals die bepaald worden door de opbouw van de smeedhaard (positie van de *tuyère* in relatie tot de bodem) en de kracht van de luchtstroom (sterker/warmer of zachter/kouder) (Fig. 4.9). Deze factoren kunnen een verschil maken in de vorm van het oppervlak bovenaan, de kleur, de breuk, de hoeveelheid en morfologie van de poriën/luchtbellen, de aanwezigheid van corrosie en/of de aanwezigheid van houtskoolindrukken of inclusies (Serneels & Perret 2003, 473).

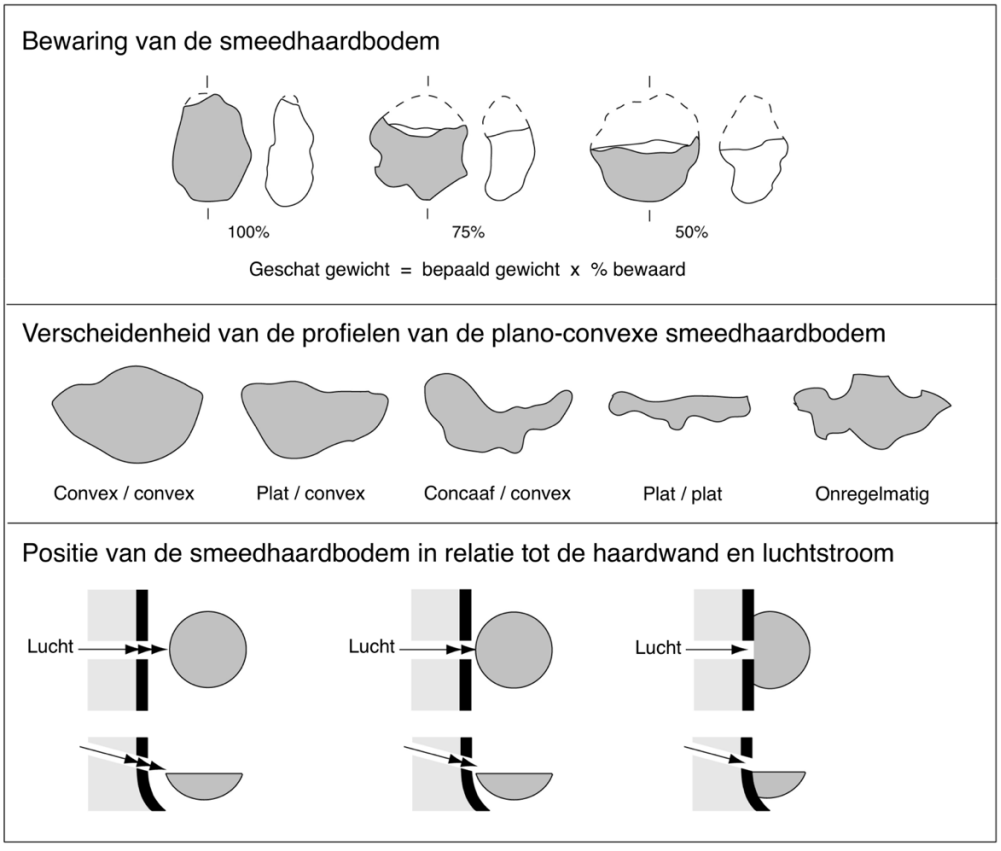


Fig. 4.9: Morfologische studie van de plano-convexe smeedhaardbodem (aanpassing van Serneels & Perret 2003, Fig. 4).

Smeedslakken vertonen niet altijd duidelijk herkenbare vormen. **Smeedslakbrokken** zijn onregelmatige brokken smeedafval met een gewicht van maximaal enkele honderden grammen. Het zijn slakken die niet werden opgenomen in de smeedhaardbodem of het resultaat van het uitkuisen van de haard wanneer deze nog warm is, waarbij de slak misvormd wordt. Het is vaak zeer moeilijk om te bepalen of deze soort amorfe slakken het resultaat is van smeden of smelten (Crew 1996, 2; Schuerman 1996, 189). Kleine hoeveelheden slak kunnen mogelijk ook uit de smeedhaardbodem vloeien en resulteren in kleine vloeisels of globules met een glad oppervlak bovenaan en een vervormde onderzijde door het afkoelen in de houtskool. Deze slakken kunnen identiek zijn aan vloeislakken (Crew 1996, 2).

Specifiek voor de smidse is de vorming van restafval rond het aambeeld. In de vroegste stadia van de raffinage en het smeden kan de ijzerwolf nog een aanzienlijke hoeveelheden slak bevatten, en door deze bedekt worden. Bij het hameren van de ijzerwolf kan zich een zeer uiteenlopende verzameling aan **hamerslakken** vormen. Smeedplaatjes zijn de meest herkenbare vorm. Deze hebben één afgeplat oppervlak door de impact van een hamer of aambeeld en een onregelmatig oppervlak waar de slak van de ijzerwolf is afgebroken. Ze meten tot 10 mm en zijn tot 5 mm dik, maar vervormen regelmatig wanneer de slak afkoelt. Soms zijn ze ijzerrijk, maar dan worden ze doorgaans gerecycleerd. Wanneer de ijzerwolf bewerkt is tot een meer compacte massa, kan na het verhitten tot zeer hoge temperaturen de gevangen slak bij het hameren wegspringen van het aambeeld. Deze vormt zich dan tot slakbolletjes of druppelvormige hamerslakken. Als deze niet afgekoeld zijn wanneer ze een oppervlak raken, kunnen ze afgeplat worden en spatten vormen. Het hameren van de volledig zuivere ijzerwolf of het secundaire smeden van het ijzer tot een voorwerp kan schilfervormige hamerslakken produceren. Deze zijn doorgaans plat en dun, maar kunnen wat misvormd zijn. Ze zijn heel fragiel en kunnen uiteenvallen tot magnetisch stof. Ze hebben doorgaans een eerder dof oppervlak, maar hoge temperaturen kunnen ook een glanzende schijn met zich meebrengen (Crew 1996, 2; Schuermans 1996, 190).

4.5.3 Bijkomend productieafval

Brandstofasseslakken worden zowel op sites waar reductieprocessen plaatsvonden, als aan een smidse aangetroffen, maar houden mogelijks vaker verband met de open haard die werd gebruikt bij de raffinage en het smeden van de ijzerwolf. Het is een zeer licht, poreus en verglaasd slakkenmateriaal, bestaande uit de overgebleven as van de brandstof die reageerde met zandig materiaal afkomstig van het erts of de oven- of haardwand (Crew 1996, 2; Schuermans 1996, 189-190).

Sintels zijn dan weer ondefinieerbare samengesmolten brokken van onvolledig verbruikt materiaal zoals erts, semi-gereduceerd erts, houtskool en slak. Ze vertonen de kenmerken van een conglomeraat en zijn onregelmatig gevormd, broos en hebben een lage dichtheid (Joosten 2004, 17; Schuermans 1996, 190).

Stevige smeedactiviteiten, waarbij een sterke luchtstroom wordt aangehouden, kunnen hoge temperaturen in de smeedhaard produceren. Dit kan leiden tot het smelten van de kleien haardwand en vervolgens het vormen van hevig verglaasde slakken. Deze hebben een verwrongen vorm en zijn gewoonlijk bleek in kleur. Het kunnen redelijk grote stukken zijn, die tot enkele honderden grammen

wegen. De densiteit van deze **haardwandslakken** valt tussen die van de brandstofasseslakken en de zwaardere ijzerslakken (Crew 1996, 2).

4.6 Problematiek bij de interpretatie

De archeoloog en metallurgist worden zeer vaak geconfronteerd met het feit dat het uitzicht van metaalslakken aanzienlijk kan veranderen ten gevolge van postdepositionele (corrosie)processen. Deze secundaire corrosie kan de kleur, oppervlaktetextuur en in extreme gevallen de volledige morfologie van de slakken wijzigen, waardoor de determinatie bemoeilijkt wordt. Gelijkaardige morfologische kenmerken kunnen de toewijzing tot verschillende slaktypes bemoeilijken. Zo zijn de ovenbodem en de smeedhaardbodem omwille van de gelijkaardige plano-convexe vorm moeilijk van elkaar te onderscheiden. Toch zou de ovenbodem doorgaans meer en grotere brokken houtskool bevatten en in zijn geheel poreuzer zijn dan de smeedhaardbodem. In de doorsnede van de smeedhaardbodem kunnen ook lagen waargenomen worden, terwijl de plano-convexe ovenbodem een eerder heterogene massa is. Zowel bij het reductieproces als tijdens de raffinage en het smeden van de ijzerwolf worden vormeloze brokken ijzerslak geproduceerd, die zeer moeilijk te classificeren zijn (Joosten 2004, 18; Schuermans 1996, 189). Het is daarom van uitermate belang om bij de determinatie van de individuele ijzerslakken steeds het totale metallurgisch ensemble te bekijken en het tijdskader zo accuraat mogelijk te bepalen. Bepaalde oventypes zijn immers kenmerkend voor bepaalde periodes en gebieden, terwijl andere types nooit zijn gebruikt. Jammer genoeg is de morfologie van de slak vaak ontoereikend om te bepalen van welk specifiek proces ze afkomstig zijn (Crew 1995, 2).

Crew (1995) haalt ook terecht aan dat slechts een klein deel van de reductieslakken (zoals hierboven beschreven) een aanwijzing kan zijn van primaire smeltprocessen. Enkel de aanwezigheid van erts en vloeislakken is hiervoor een duidelijke indicatie. Vloeislakken worden echter geregeld buiten hun context gevonden en werden mogelijk (vooral tijdens latere perioden) over grote afstanden verplaatst. De interpretatie van ijzerproductiesites is een zeer moeilijke materie, niet het minst door de grote vormelijke variabiliteit binnen de categorie van metaalslakken en het gebrek aan (basis)kennis hieromtrent. De literatuur hierover is verzadigd met onjuiste identificaties en dubieuze interpretaties, wat zeer misleidend kan zijn (Crew 1995, 4).

5. (Pre)historische ijzerproductie in de Antwerpse Kempen: analysefase I

Wouter Yperman, Julie Van Roy, Sara Claesens & Hanne De Langhe

5.1 Aardkundige gesteldheid

5.1.1 Geo(morfo)logie

Het studiegebied is gelegen in de archeoregio van de Kempen en omvat verschillende stroombekkens waaronder bijna het volledige Netebekken. De grote waterlopen (categorie 0 of 1) hierin zijn, naast de Grote en de Kleine Nete, de Aa en de Wimp. In het noorden stroomt het water richting het Maasbekken, met de Mark als enige grote waterloop. In het westen maakt het studiegebied deel uit van het Beneden-Scheldebekken met de Grote Struisbeek in het zuiden en de Grootschijn in het noorden als grote waterlopen. Binnen dit stroomgebied vormt de (Zee)Schelde deels de westelijke grens en de Rupel deels de zuidelijke grens van het studiegebied. In het zuiden is er nog een klein gebied dat deel uitmaakt van het Dijlebekken. Binnen dit stroomgebied stromen de Vrouwvliet en de Dijle als grote waterlopen (Fig. 5.1).

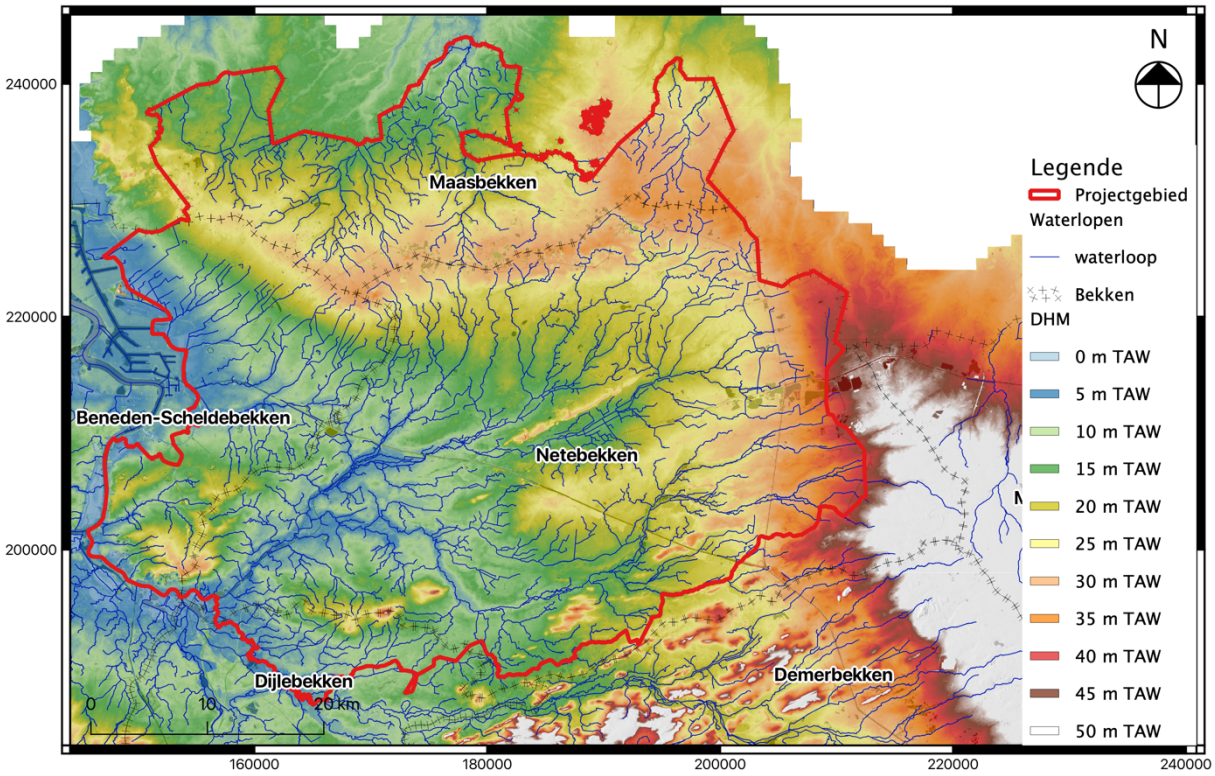


Fig. 5.1: Stroombekkens op het DHM met aanduiding van de grotere waterlopen, zonder de kanalen.

De morfologie van deze stroombekkens vindt haar oorsprong voornamelijk tijdens verschillende transgressie- en regressie-momenten in het tertiair (65 – 1,77 miljoen jaar geleden) (Fig. 5.2) en het quartair (vanaf 1,77 miljoen jaar geleden) (Fig. 5.3). Aan het begin van deze periode bevond het grondgebied van het huidige Vlaanderen zich deels binnen een (ondiepe) zee. Dit betreft het grootste deel van het studiegebied. Tijdens het tertiair zou het zeeniveau meermaals dalen (regressie) en stijgen

(transgressie) waardoor zeewater in en uit het studiegebied stroomde. Hierbij waren er verschillende mariene afzettingen (klei[8]) en kustgerelateerde afzettingen (glauconiethoudend zand[9]), die afgewisseld werden met erosiemomenten, waardoor er hiaten aanwezig zijn in de sequentie van mariene afzettingen (Fig. 5.4 & Fig. 5.5). De meest recente tertiaire afzettingen zijn fluviatiel van aard (zand zonder bijmenging van glauconiet[10]). De **tertiairgeologische kaart** (Fig. 5.2) toont aan dat dergelijke afzettingen enkel in het noorden van de Kempen voorkomen. Het fluviatiel afzettingsproces zette zich nog door tijdens het quartair waardoor ze ook op de **quartairgeologische kaart** zijn vermeld (Fig. 5.3/blauw en paars). Tijdens het begin van het quartair startte de vorming van de Vlaamse vallei, waarbij de rivieren zich diep insneden. De grens tussen het stroombekken van de Nete en de Maas vormt hierbij de noordelijke grens van de Vlaamse vallei (Fig. 5.1). Door het dalen van de zeespiegel tijdens de ijstijden sneden de rivieren zich steeds dieper in. Enkel de ijzerzandsteenbanken die ontstaan zijn door oxidatie van het glauconiethoudend zand boden weerstand en deden zo enkele getuigenheuvels ontstaan, die uitsteken in het landschap. Deze zijn zowel op het digitaal hoogtemodel (Fig. 5.1) als de quartaire diktekaart (Fig. 5.6) duidelijk zichtbaar. Tijdens een warme periode in het eemiaan (130 000 – 117 000 jaar geleden) steeg het zeeniveau weer en werden in de vroege weichsel (117 000 – 82 000 jaar geleden) sedimenten afgezet in de Vlaamse vallei (Fig. 5.3/groen). Gelijktijdig en hierna werden ook eolische afzettingen (zand tot leem) afgezet. De dikte van deze quartaire afzettingen fluctueert voor een groot deel van het studiegebied tussen 0 en 4 m (Fig. 5.6). In de alluviale vlaktes van de rivieren van het stroombekken van de Nete vormden zich vanaf het laat-pleistoceen (vanaf 130 000 jaar geleden) alluviale (klei) afzettingen. In het uiterste noordoosten vormden zich tijdens het pleistoceen (2,58 miljoen - ± 10 000 v.C.) grindafzettingen van de Maas en Rijn, die door de zich steeds verleggende Maas en Rijn soms meermaals herwerkt werden doorheen de tijd (Fig. 5.3/bruin) (Vandenberghe 2004 & Pirson 2008).

[8] Formatie van Boom (Fig. 5.2/Bm)

[9] Formatie van Zelzate (Fig. 5.2/Zz), Berchem (Fig. 5.2/Bc), Diest (Fig. 5.2/Di), Kasterlee (Fig. 5.2/Kl), Poederlee (Fig. 5.2/Pd) en Lillo (Fig. 5.2/Li)

[10] Formatie van Brasschaat (Fig. 5.2/Bs), Mol (Fig. 5.2/Ml) en Merksplas (Fig. 5.2/Me).

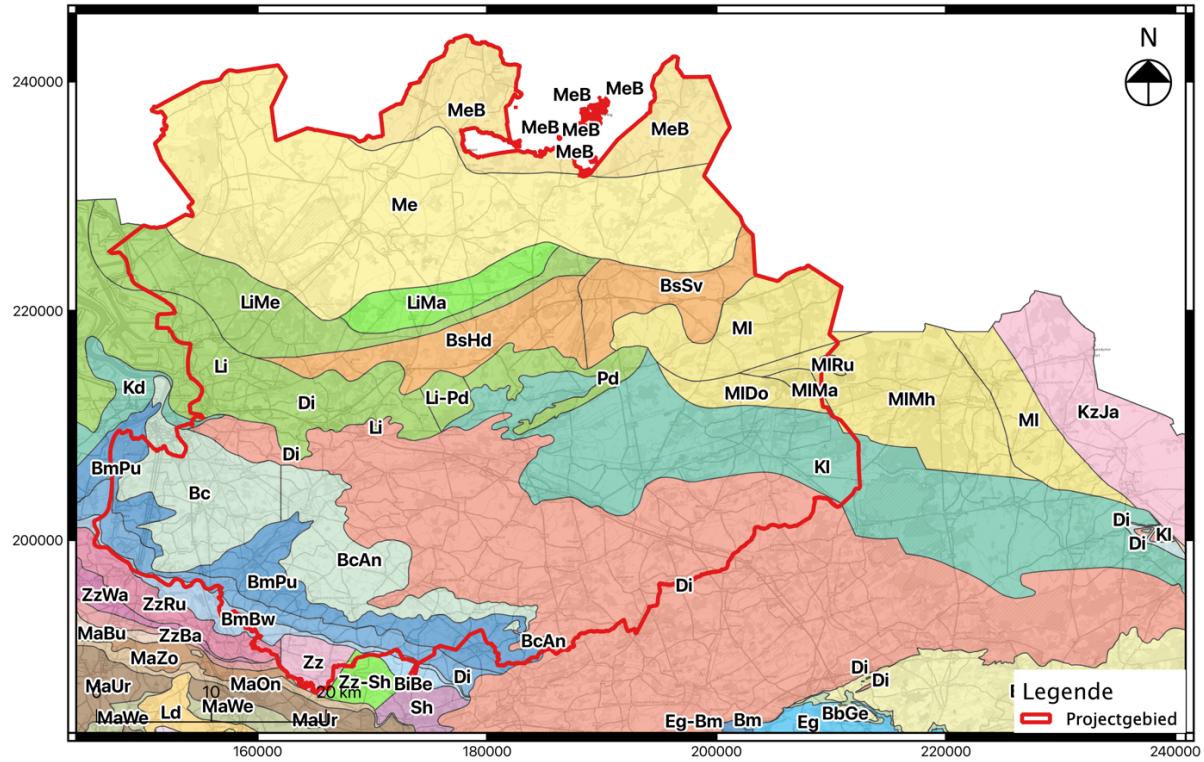


Fig. 5.2: Tertiairgeologische kaart met afbakening van het studiegebied.

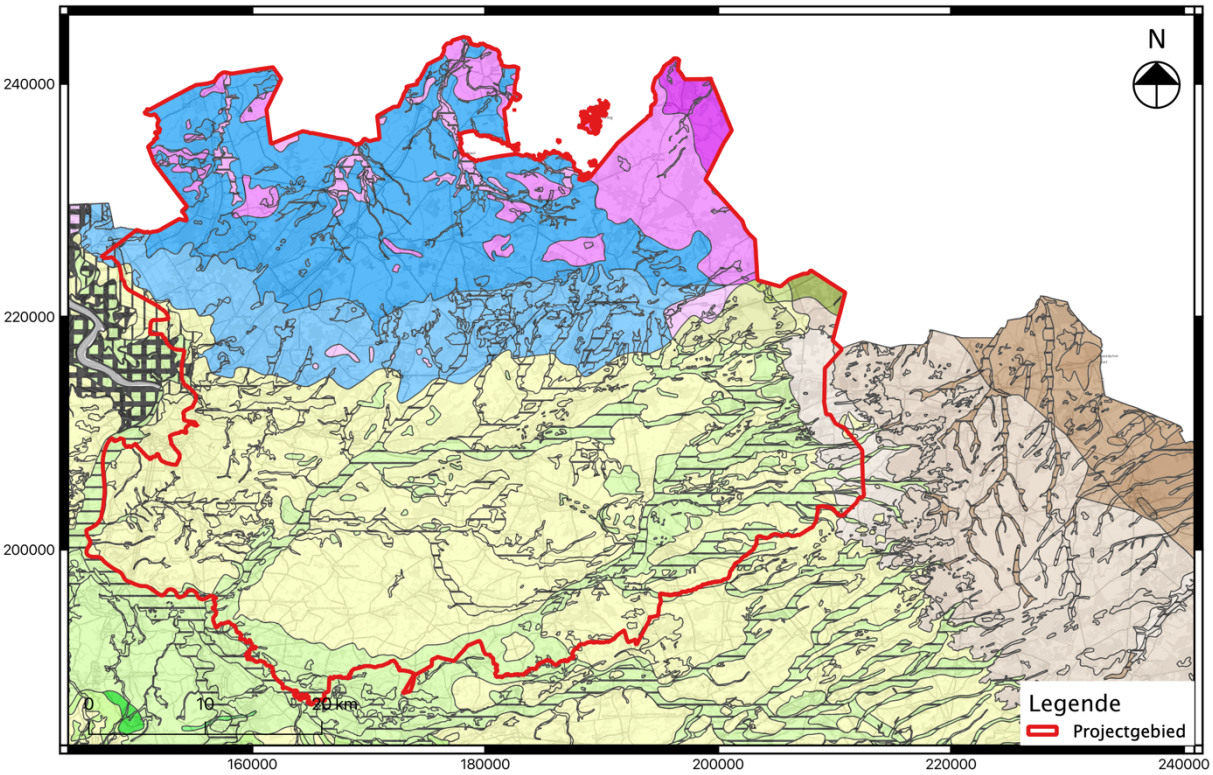


Fig. 5.3: Quartairgeologische kaart met aanduiding van het studiegebied.

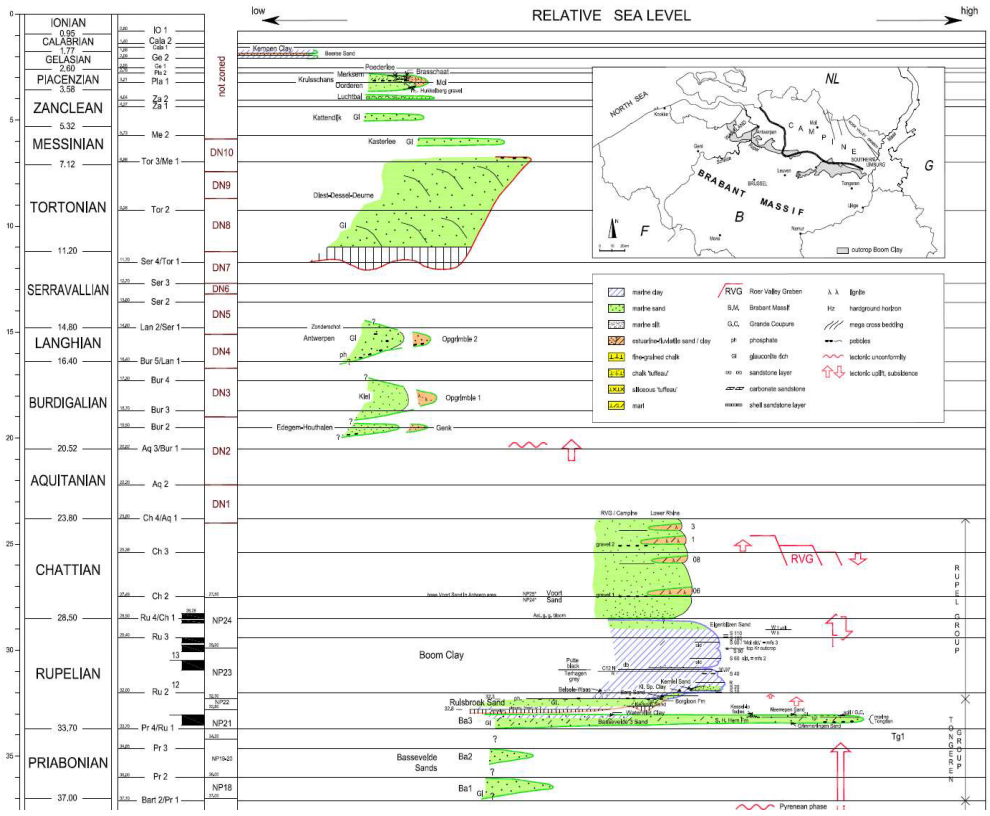


Fig. 5.4: Weergave van de afzettingen binnen het studiegebied (groen: marien zand, gearceerd: mariene klei, oranje: alluvium/getijde, hiaten: erosie) (Vandenberghe 2004).

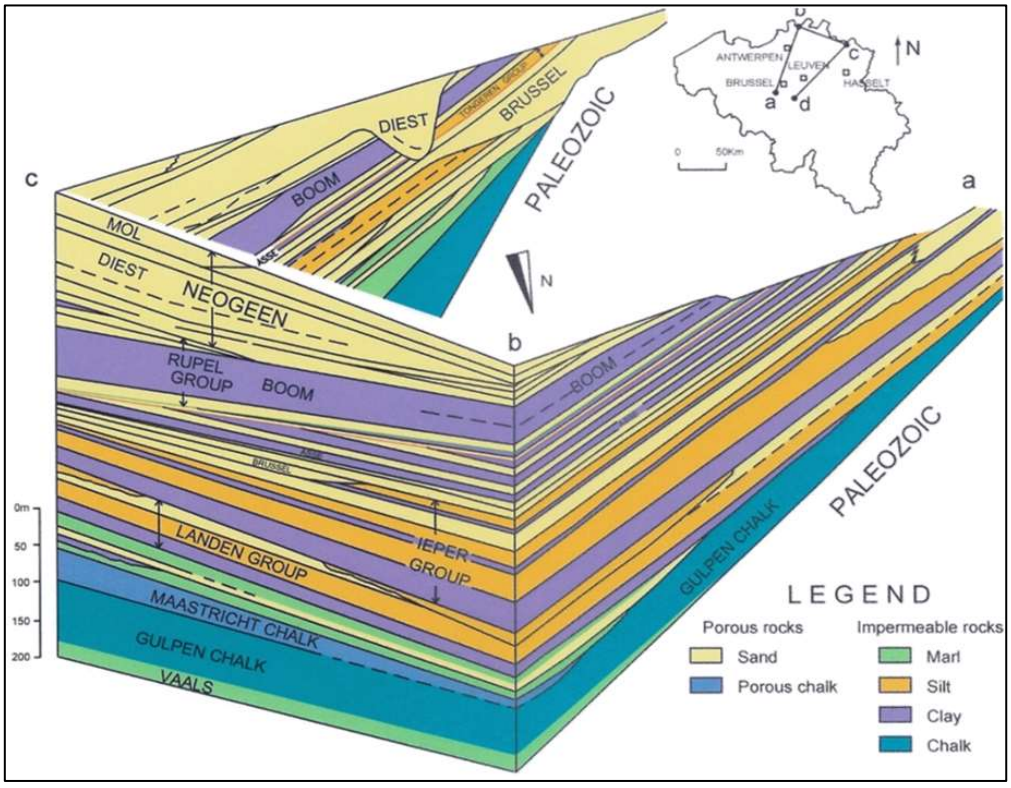


Fig. 5.5: Doorsnede met de afzettingen uit het krijt en het tertiair in het studiegebied (Pirson 2008).

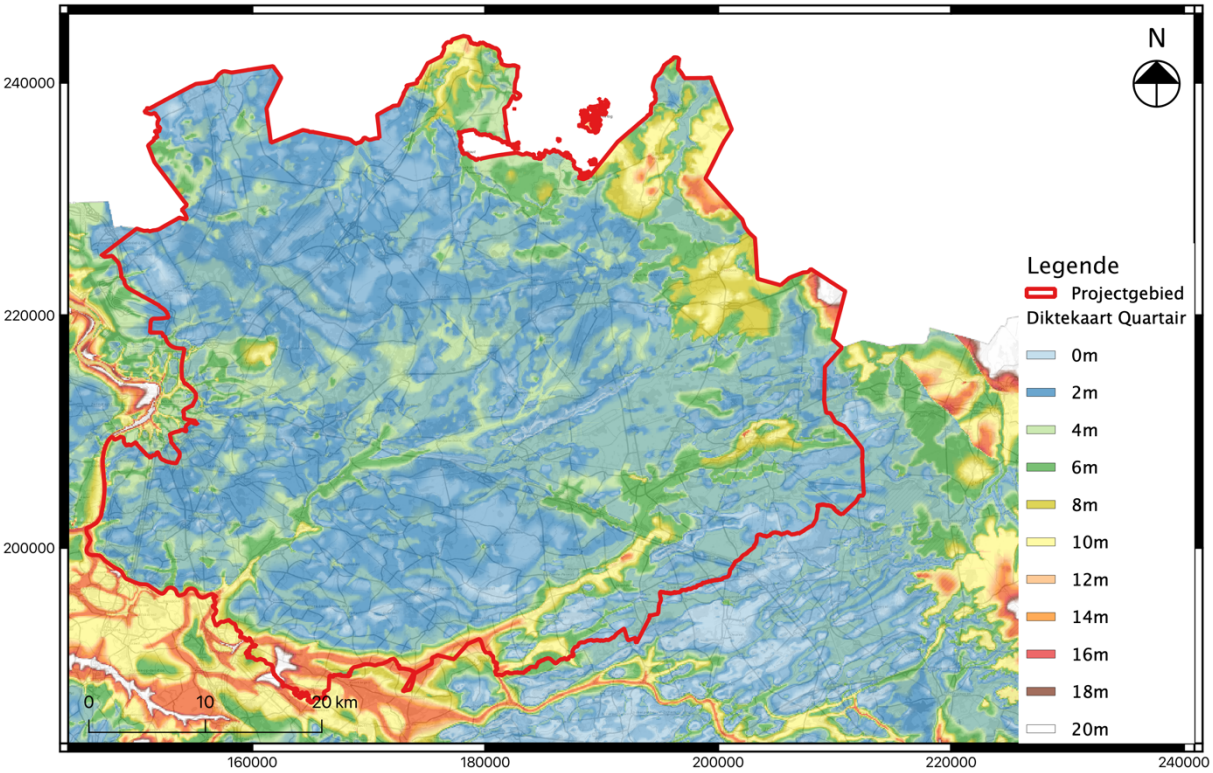


Fig. 5.6: Diktekaart van het quartair met aanduiding van het studiegebied.

5.1.2 Bodemkundige gesteldheid

De holocene (vanaf ca. 10 000 v.C.) bodemvorming speelde zich af in de top van de eolische afzettingen van het laat-pleistoceen. De Belgische bodemkaart geldt hiervoor als belangrijkste bron. Vanwege de omvang van het studiegebied in verhouding tot de resolutie van de bodemkaart, zal de bodemkaart opgedeeld worden in haar verschillende deelaspecten. Hierbij kan de *overlay* van de dataset van *AARDEWERK* op verschillende bodemkaarten een indicatie zijn van de relatie tussen bodem en ijzeroer.[11] Er dient ook rekening gehouden te worden met het feit dat bepaalde bodemtypes een antropogene oorsprong hebben en dus geen informatie verschaffen over de oorspronkelijke, natuurlijke bodemopbouw ter plaatse. Concreet gaat het bijvoorbeeld om zones die zijn gekarteerd met code OB, waar de bodemopbouw (ten gevolge van bebouwing e.d.) onbekend is, of om ..m-gronden, waarbij de teelaarde ten gevolge van agrarische activiteit een dikte heeft van minstens 60 cm.

De **textuurkaart** (Fig. 5.7) toont voor het studiegebied overheersend zandgronden met lichte zandleem en lemige zandgronden. In het zuiden, op de grens van de zandleemstreek, vormen de lemige zandgronden de overheersende texturen. De relatie tussen de waterlopen en de bodemtextuur is op vele plaatsen duidelijk. De erosie van de zandfractie (63 µm – 2 mm) door het water zorgt voor het ontstaan van een fijnere leemfractie (2 µm – 63 µm) in de omgeving van de waterlopen. In het zuiden van het studiegebied en op de scheidingskam tussen het Maas en Netebekken is de leem deels ook

[11] Dataset van gegraven bodemprofielen die gemaakt werden tussen 1949 en 1971 en, samen met landschappelijke boringen, de basis vormen van de Belgische bodemkaart. Deze dataset gebruikt de term moerasijzererts i.p.v. ijzeroer.

afkomstig van eolische afzettingen. In de waterlopen zelf zorgt verdere erosie voor het ontstaan van een nog fijnere kleifractie (< 2 µm), dat zich op verschillende plaatsen in de alluviale vlakte van de grote waterlopen heeft afgezet. Het symbool V (al dan niet in combinatie gebruikt met een bodemserie) wijst op veenpakketten aan het oppervlak of op ondiep begraven veen (< 120 cm diepte), terwijl het symbool X staat voor stuifzandlichamen.

De **drainagekaart** (Fig. 5.8) toont voor het studiegebied een goede drainage. De echt droge gronden (drainageklasse a) komen enkel voor op de toppen van enkele tertiaire getuigenheuvels, waar het water niet in de ondergrond kan doordringen door de aanwezigheid van klei. In de alluviale vlaktes is de drainage uiteraard (zeer) beperkt, net zoals in zones met de aanwezigheid van veen.

De **profielontwikkelingskaart** (Fig. 5.9) toont voor het studiegebied een duidelijke aanwezigheid van podzolbodems (..f en ..g-profielontwikkeling). Ten gevolge van intensieve landbouw kan een dikke antropogene bovengrond aanwezig zijn (..m-profielontwikkeling) waardoor podzolbodems begraven zijn. Een belangrijk kenmerk van gronden met podzolbodems is de lagere zuurtegraad en de aanwezigheid van een ijzer-B-horizont. Afhankelijk van de situering in het landschap en de intensiteit van percolerend grondwater kunnen ook (elders) uitgestrekte banken van ijzeroer ontstaan. Hierbij zijn de zogenaamde hydromorfe podzolen potentiële brongebieden van het ijzer, dat uiteindelijk elders werd afgezet in de vorm van ijzeroer. Een kenmerk van hydromorfe podzolen is een beperkte drainage van de gronden en de duidelijke migratie van onder andere ijzer, afgezet in de vorm van *fibers* doorheen het moedermateriaal (Fig. 5.11).

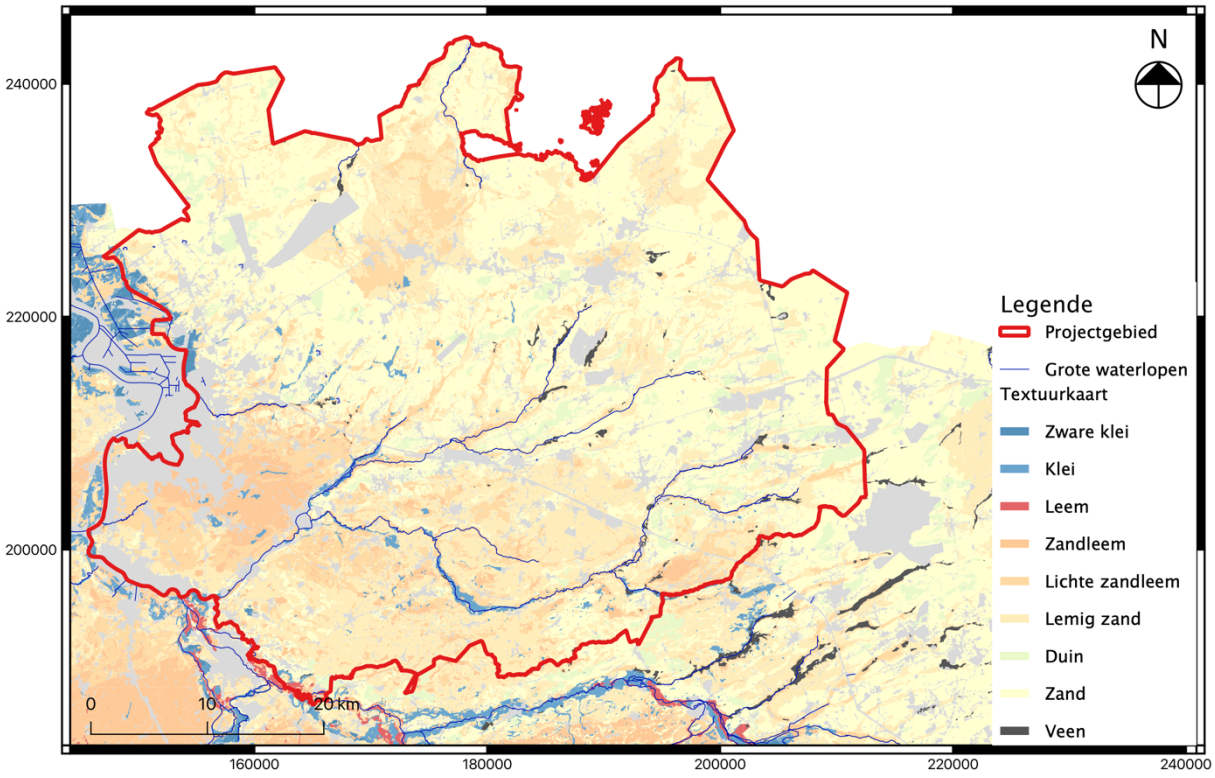


Fig. 5.7: Bodemtextuurkaart met aanduiding van het studiegebied.

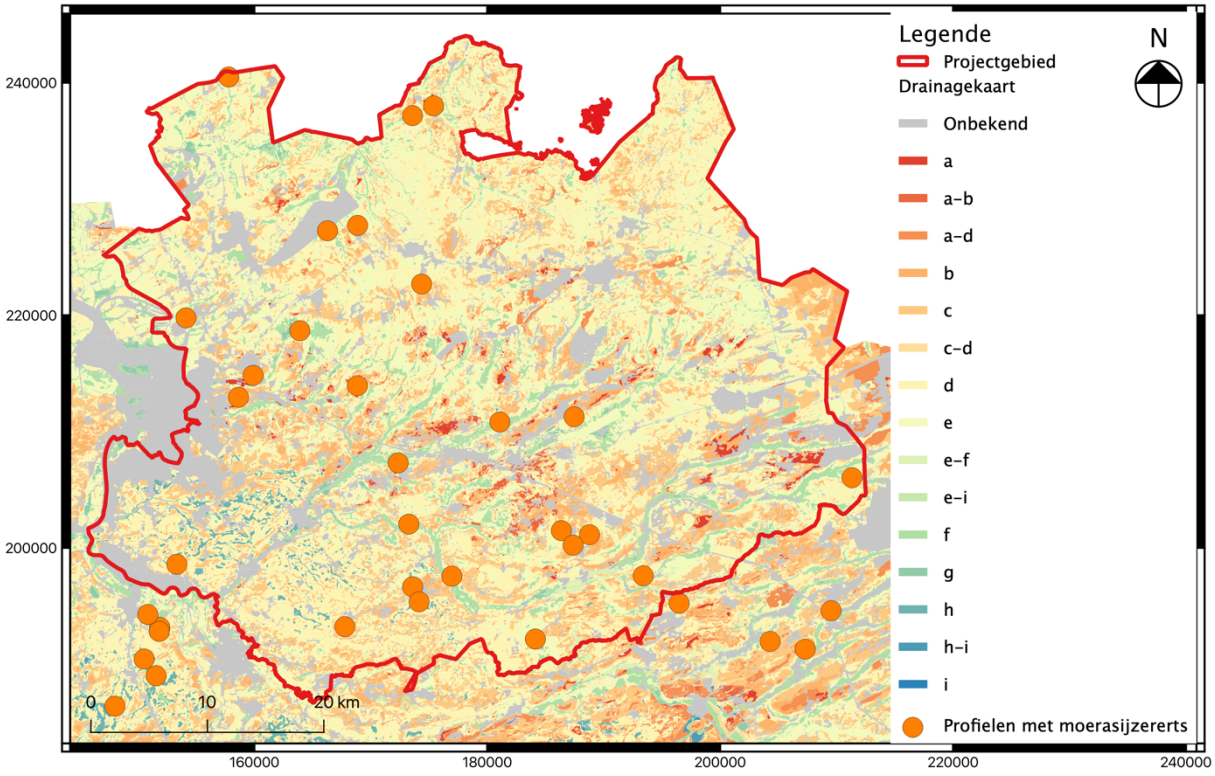


Fig. 5.8: Bodemdrainagekaart met situering van bodemprofielen die de aanwezigheid van moerasijzererts aantonen binnen het studiegebied.

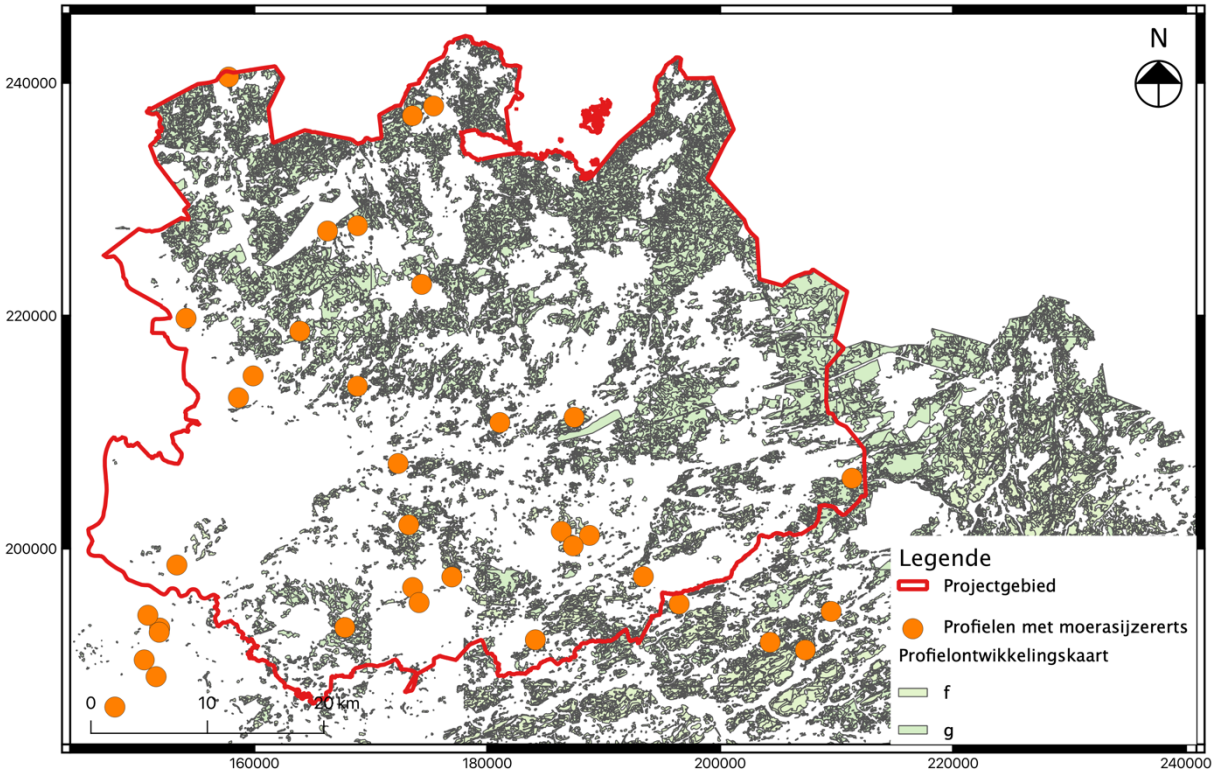


Fig. 5.9: Profielontwikkelingskaart met aanduiding profielen met moerasijzererts en het studiegebied.

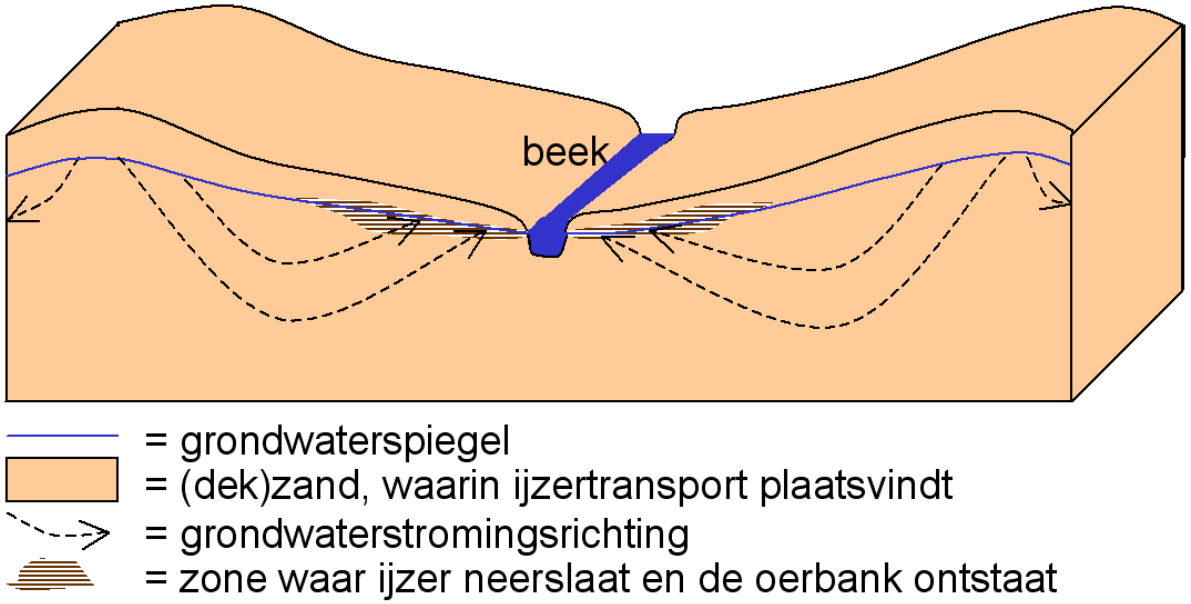


Fig. 5.10: Schematische weergave bij de vorming van ijzeroer (https://nl.wikipedia.org/wiki/IJzeroer).



Fig. 5.11: Extreem voorbeeld van migratiebanden (*fibers*) bij een hydromorfe podzolbodem in Mol.

5.1.3 IJzeroer als (voornaamste) grondstof

In verschillende tertiaire sedimenten zijn ijzerzandsteenbanken aanwezig en hoewel ijzeroer en ijzerzandsteen beide deels bestaan uit ijzerhoudende mineralen zoals goethiet, is er een wezenlijk verschil tussen beide.[12] Bij ijzerzandsteen is, zoals de naam al doet vermoeden, de aanwezigheid van zand als matrix een cruciaal onderdeel. Het ijzeroxide vormt hier het cement tussen de zandkorrels. Zowel ijzerzandsteen als ijzeroer kunnen apart voorkomen op eenzelfde locatie en beide werden ook gebruikt als bouwmateriaal. Wegens de hardheid is ijzeroer wel resistenter tegen (chemische) erosie dan ijzerzandsteen en zal het hierdoor soms ook gebruikt worden als een parementsteen (De Clercq e.a. 2014).

Aangezien ijzeroer geassocieerd is met natte bodems, is de verwachting dat het voorkomen van moerasijzererts in de dataset van *AARDEWERK* gelinkt is aan slecht gedraineerde gronden. Dit is echter niet altijd het geval, aangezien ijzeroer ook op grotere diepte (onder een droge bovengrond) aanwezig kan zijn. Zo zijn er profielen met een droge bodem (drainageklasse a of b), waarbij het ijzeroer pas werd aangetroffen op een diepte van meer dan 100 cm (Fig. 5.12/Profiel: 015E/10, 029W/28, 060E/15), waar sprake is van vochtige (Fig. 5.12/Vocht: 4) tot waterzieke (Fig. 5.12/Vocht: 6) horizonten. Ook bestaan er droge profielen met een ondiep substraat van ijzeroer (Fig. 5.12/Profiel: 007E/16, 030E/03, 059E/16), gelinkt aan veranderingen in de waterhuishouding doorheen de tijd.

Profiel	X	Y	Diepte ijzeroer	Horizont	Vocht (0-6)	Zuurtegraad	Vrije Fe^2O^3	Bodemserie	Diepte Grondwater
001E/10	157788	240491	33	Bcn		6,1	0		40
007E/03	175388	238005	88	C - A2	4	5,05	0,04	Zcf	
007E/16	173574	237171	28	B2h1	0	4,3	0,08	Zbg	
015E/10	154129	219773	130	III C	6	4,55	4,74	Zcm	80
016E/29	174362	222687	30	Bh	4	5,55	0,12	(u)Sdg	
016W/02	168859	227726	65	C	4	5,5	0,2		
016W/23	166279	227267	25	C1ir	5	6,35	0		
016W/45	163903	218669	0	Ap	4	4,45	0		130
028E/23	158630	212948	47	B21degr	4	5	0,93	Pdc	140
028E/26	159889	214826	85	Cg	4	4,6	0,48	Sbg	
029W/28	168847	213942	122	Cg	4	4,6	0		
030E/03	187460	211269	21	B22hir	3	4,45	0,88	Zag	
030W/11	181074	210820	22	A12cn	3	6,1	1,95	wZepm	130
043W/04	153339	198584	53	Bir	4	6	1,92	(w)Sdm(m)	150
044E/11	173257	202033	70	Dg	5	4,4	3,22		
044E/16	172341	207301	30	A1gcn	5	5,55	9,71		80
045E/19	186360	201478	5	AC	4	4,2	0	Sdpz	100
045E/23	188778	201129	57	Cg2		4,8	21,87	Sep	110
045E/29	187369	200230	0	Ap1	4	5,5	0	wSdm	
047W/06	211320	206033	0	A11	5	6,15	2,99	vSfpm	50
059E/05	176960	197560	16	A1cng	6	5	16,06	vEgpm	30
059E/16	173590	196650	30	A1cn	4		13,04	Sbfe	
059E/25	174140	195355	35	Cg1	5	4,85	4,84	Edxz	60
059W/12	167766	193215	76	D1g	5	6,2	1,14	wZdc(h)	

[12] Formatie van Diest (Fig. 5.2/Di) en Poederlee (Fig. 5.2/Pd).

Profiel	X	Y	Diepte ijzeroer	Horizont	Vocht (0-6)	Zuurtegraad	Vrije Fe^2O^3	Bodemserie	Diepte Grondwater
060E/15	193395	197590	130	Birb	4	5,05	0,76	Zbm	
060W/20	184130	192159	0	A1(p)	4	4,45	8,1		

Fig. 5.12: Horizonten met ijzeroer uit de AARDEWERK dataset.[13]

Op basis van onderzoek (Stanton e.a. 2007) blijkt dat de vorming van ijzeroer gebeurt door transport van ijzer in zuurstofarm grondwater met een lage (<7) pH-waarde, totdat het aan het oppervlakte komt en daar oxideert door blootstelling aan lucht en/of ijzer-bacteriën en afgezet wordt in de vorm van voornamelijk goethiet (FeOOH), limoniet ($FeO(OH)\cdot nH_2O$) en schwertmanniet ($Fe_8O_8(OH)_6SO_4$). IJzeroer kan ook ondergronds afgezet worden wanneer het in het zuurstofarme water opgeloste ijzer in contact komt met zuurstofrijke lucht of water in de bodem en zo de oxidatie van ijzer kan starten.[14] De roestvlekjes in de gleygronden ontstaan op deze manier en kunnen beschouwd worden als de start van de vorming van ijzeroer. De waarnemingen in de profielen van *AARDEWERK* tonen duidelijk dat ijzeroer zich op verschillende dieptes kan vormen.

De omvang van de ijzeroerafzettingen kan zeer divers zijn, zowel qua oppervlakte (1-100 m^2) als dikte (0,5 cm – 1 m dik), waarbij niet alleen de omvang van het contactoppervlak tussen zuurstof (in lucht of water) en het in zuurstofarm water opgelost ijzer van belang is, maar ook de aan- of afwezigheid van ijzerminnende bacteriën. Die bacteriën versnellen de oxidatie van vrij ijzer en bepalen zo niet alleen de groeisnelheid, maar ook de omvang van een concentratie ijzeroer (Stanton e.a. 2007). Doordat ijzeroer ontstaat uit migrerend zuurstofarm water met opgelost ijzer is er dus ook sprake van een constante aanvoer en dus groei. Hierdoor vormt ijzeroer een hernieuwbare grondstof die na verloop van tijd opnieuw ontgonnen kan worden. Die tijd hangt uiteraard af van de groeisnelheid van het ijzeroer. Observaties tijdens het onderzoek van Stanton e.a. (2007) in de alluviale vlakte van de Animas-rivier in de Amerikaanse staat Colorado wijzen erop dat na 130 jaar er een 1 m dik pakket ijzeroer kan gevormd worden. De groei kan echter ook zeer traag verlopen. Op basis van ^{14}C-dateringen op verschillende locaties in de alluviale vlakte van de Animas-rivier kon het een groeitempo van 0,13 - 0,9 m accumulatie per 1000 jaar vastgesteld worden. De snelste aangroei kon bepaald worden in een in 1955 gesloten ijzeroermijn, waarbij de toegangsweg na ongeveer 50 jaar bedekt was met een 1 m dikke laag ijzeroer (Stanton e.a. 2007). Door veranderingen in de hoeveelheid opgelost ijzer, de grondwatertafel en/of stroomrichting van het grondwater kan de groei van ijzeroer op één plaats stoppen of verminderen en op een andere plaats ontstaan of versnellen. IJzeroer kan zelfs opnieuw oplossen in water en elders afgezet worden (Stanton e.a. 2007). Doordat ijzeroer een duurzame grondstof is, kan het dus perfect mogelijk zijn dat, voornamelijk kleinschalige, ontginningen niet als dusdanig herkenbaar zijn tijdens een archeologisch onderzoek. Na verloop van tijd kunnen ontginningssporen namelijk verdwijnen ten gevolge van nieuw ontstaan ijzeroer.

Locaties met ijzeroer kunnen afhankelijk van de aangroeisnelheid dus langdurig ontgonnen zijn geweest. Op dergelijke plaatsen in het landschap kunnen dan ook meer omvangrijke en meer

[13] De gehanteerde benamingen voor de horizonten dateren uit de jaren '50-'70 van de 20ste eeuw en zijn mogelijk niet meer in gebruik en veranderd.

[14] De gemiddelde porositeit van grond is ca. 50%, dat deels door water en deels door lucht wordt ingenomen. De verbindingen tussen deze poriën, en dus de mogelijkheid van migraties, is groter bij zandgronden dan bij kleigronden.

permanente constructies zijn opgericht waar naast ijzeroerontginning ook ijzerproductie kan hebben plaatsgevonden. Andere locaties zullen slechts éénmalig ontgonnen zijn geweest, met relatief weinig sporen van hiermee geassocieerde constructies. Het was ook mogelijk dat er helemaal geen constructies aanwezig waren voor ijzerproductie en dat het ontgonnen ijzeroer werd getransporteerd naar een bewerkingsplaats elders. De plaats waar effectief ijzerproductie heeft plaatsgevonden hoeft dus niet noodzakelijk overeen te stemmen met de plaats van ontginning.

5.1.4 Bodemgesteldheid ter hoogte van de archeologische vindplaatsen

Binnen de grote arealen met zandgronden (Fig. 5.13 - Fig. 5.17) zijn geen sites bekend waar ijzeroer of ijzerslakken zijn aangetroffen (Fig. 5.15). Wel bevonden 24 van de 119 vindplaatsen zich langs de rand van de grotere zandgebieden. Hiervoor geldt een relatief eenvoudige verklaring. Zandgronden, en met name de zure podzolbodems, vormen de brongebieden van het vrije ijzer dat uiteindelijk als ijzeroer neerslaat in lager gelegen gebieden. Het is dan ook niet verassend dat er geen enkele vindplaats ter hoogte van een ..g-gronden (podzolbodem) en slecht één vindplaats ter hoogte van ..f-gronden (een zwak ontwikkelde podzolbodem) (Fig. 5.14) werd aangetroffen. In deze gronden kan zich wel degelijk ijzeroer vormen, zoals de *AARDEWERK*-databank aantoont (Fig. 5.12), maar het zijn duidelijk niet de locaties waar het erts werd verwerkt. Eenzelfde vaststelling kan gemaakt worden voor ..p-gronden (gronden zonder profielontwikkeling) (Fig. 5.14). Vaak zijn dit alluviale of colluviale gronden. Alluviale gronden zijn natte gronden waardoor de associatie met ijzeroer snel gemaakt is. Ook hier toont de *AARDEWERK*-databank aan dat er effectief ijzeroer voorkomt (Fig. 5.12). Maar net zoals bij de ..g-gronden zijn er voor dergelijke gronden geen verwerkingsplaatsen bekend. Er is wel een duidelijke voorkeur voor activiteiten op ..m-gronden (dikke humusrijke antropogene A-horizont), die zijn ontstaan vanaf de late middeleeuwen en veelal te vinden zijn in de buurt van historische landbouwuitbatingen. Er is dus een duidelijke relatie tussen ..m-gronden, landbouwuitbatingen en de hoge frequentie van sites met ijzerbewerking. De meest logische verklaring is dat de bewerking van ijzer plaatsvond op het erf van een boerderij, binnen een nederzetting of in de onmiddellijke omgeving ervan. Het ijzeroer werd dus niet noodzakelijk verwerkt waar het werd ontgonnen, tenzij op de ontginningslocatie zelf uiteraard ook een boerderij of nederzetting aanwezig was. De ruimtelijke spreiding van de locaties toont de link met de relatief vruchtbare landbouwgronden duidelijk aan (Fig. 5.17). Vooral op de meer lemige bodems ten zuidoosten van Antwerpen en de ..m-bodems komen sites met ijzerslakken voor.

Terwijl op de meest hooggelegen delen van het landschap geen sites met ijzeroer en/of slakken bekend zijn (op zich niet verassend) zijn er op de iets minder hooggelegen gebieden wel sites met brokken ijzeroer en/of slakken vastgesteld. Wat wel opvalt is dat er geen vindplaatsen zijn gesitueerd ter hoogte van natte valleigronden. Deze alluviale gronden zijn mogelijk wel een bron geweest van ijzeroer, maar van ijzerbewerking in deze landschapseenheid lijkt vooralsnog geen sprake (Fig. 5.18).

5.1.5 Interpretaties en vraagstellingen

Zijn er geen vindplaatsen met sporen van ijzerbewerking aanwezig ter hoogte van ..p-, ..f- en ..g-gronden omdat er daar effectief niet aan verwerking werd gedaan of gaat het eerder om een gebrek

aan data wegens het ontbreken van structureel archeologisch onderzoek in dergelijke gebieden? In de CAI zijn tot op heden 432 locaties met archeologische opgravingen opgenomen voor wat betreft het projectgebied. De ..g-profielontwikkeling (incl. OB-gronden in de omgeving) werd vastgesteld op slechts 19% van de opgravingsarealen (Fig. 5.19) die ook oudere vindplaatsen (steentijd) omvatten. Dit is ook in overeenstemming met het beeld dat de (archeologie)nota's verschaffen (Fig. 5.20).[15] Hieruit blijkt dat voor zones met ..m-gronden frequenter adviezen voor een opgraving worden geformuleerd dan voor ..p-, ..f- en ..g-gronden (incl. OB-gronden in de omgeving). Er lijkt dus effectief een correlatie te zijn tussen profielontwikkeling en de aanwezigheid van een archeologische site. Grof genomen lijken ..p-, ..f- en ..g-gronden gemeden te zijn voor occupatie. De locatie voor de verwerking van ijzeroer volgde eenzelfde patroon, met meer activiteit ter hoogt van m-gronden.

Textuur	IJzertijd	Romeins	Vroege middeleeuwen	Vanaf volle middeleeuwen	Middeleeuwen	Onbekend	Som	%
Zandleem (L)	7	0	0	1	0	5	13	10,9
Lichte zandleem (P)	8	4	0	1	0	2	15	12,6
Zand (Z)	4	5	1	5	2	7	24	20,2
OB	3	4	2	9	1	9	28	23,5
Lemig zand (S)	6	6	2	11	3	11	39	32,8
Som	28	19	5	27	6	34	119	100

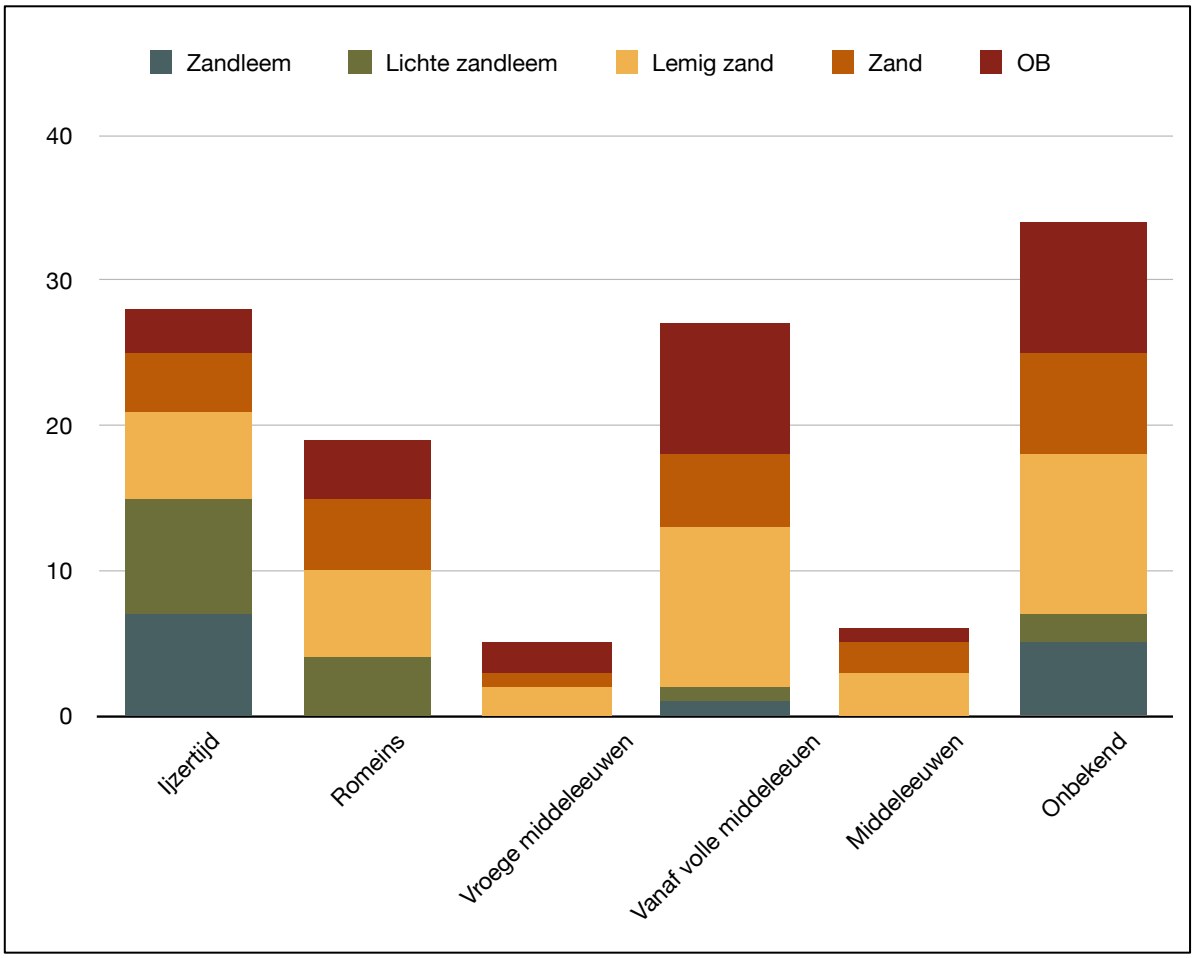


Fig. 5.13: Tabel en grafiek met de relatie tussen de bodemtextuur en de datering van sites.

[15] Overzicht CAI en archeologienota': siituatie op 24 maart 2023.

Profielontwikkeling	IJzertijd	Romeins	Vroege middeleeuwen	Vanaf volle middeleeuwen	Middeleeuwen	Onbekend	Som	%
f	1						1	0,8
p				1			1	0,8
a	3			1		4	8	6,7
c	11	3		1		2	17	14,3
OB	3	4	2	9	1	9	28	23,5
m	10	12	3	15	5	19	64	53,8
Som	28	19	5	27	6	34	119	100

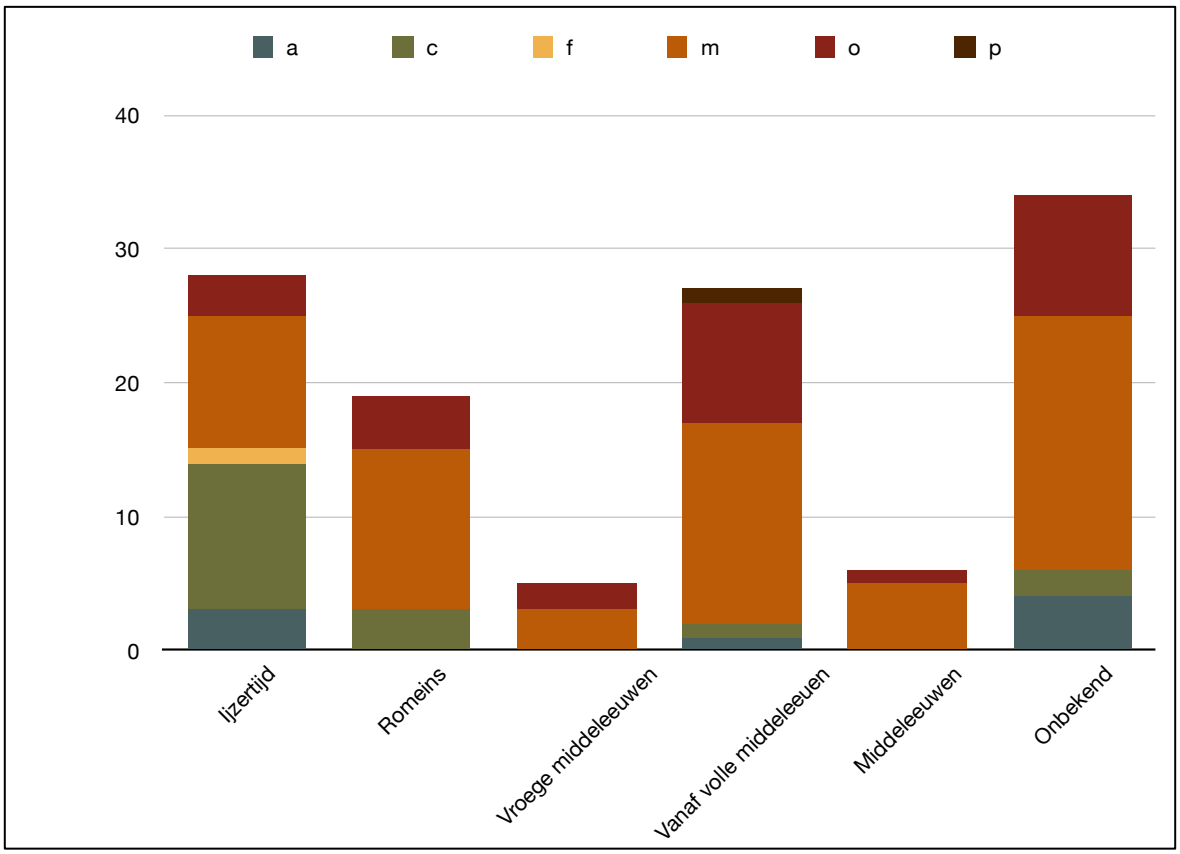


Fig. 5.14: Tabel en grafiek met de relatie tussen de bodemontwikkeling en de datering van sites.

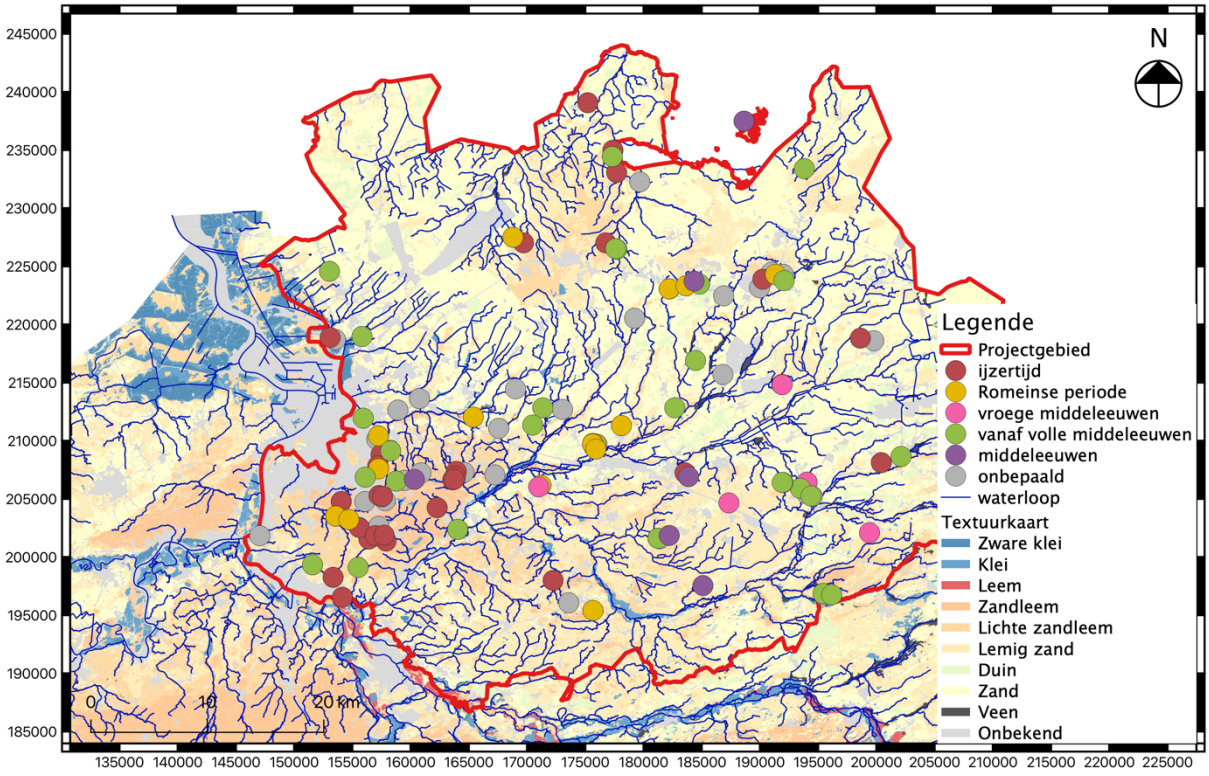


Fig. 5.15: Kaart met de relatie tussen de bodemtextuur en de datering van sites.

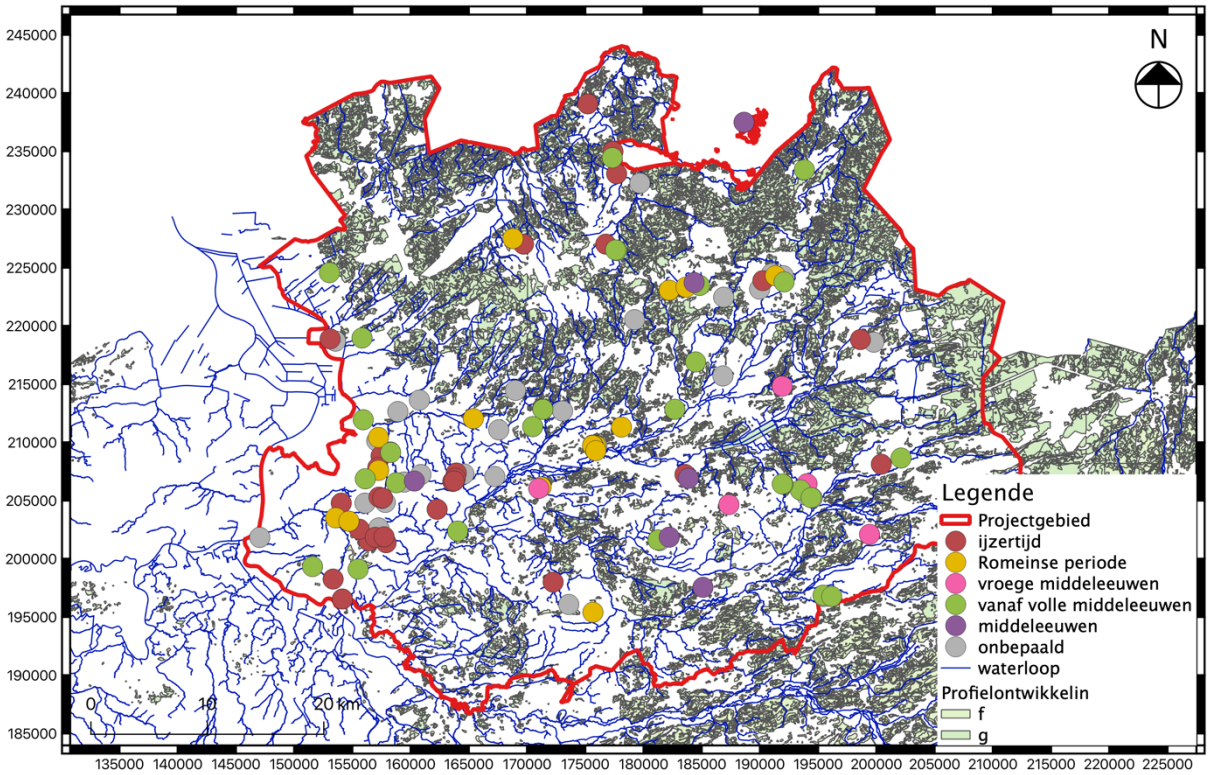


Fig. 5.16: Kaart met de relatie tussen de podzolbodems en de datering van sites.

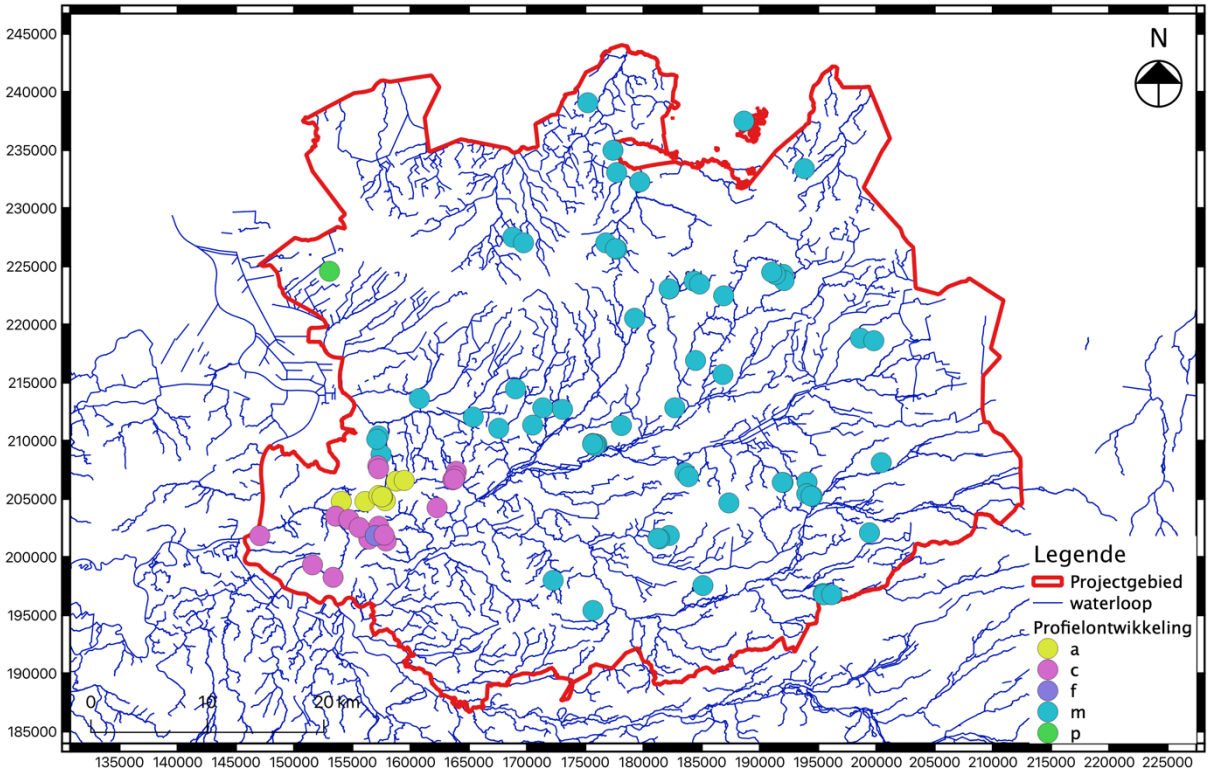


Fig. 5.17: Kaart met de relatie tussen de locatie en profielontwikkeling van de sites.[16]

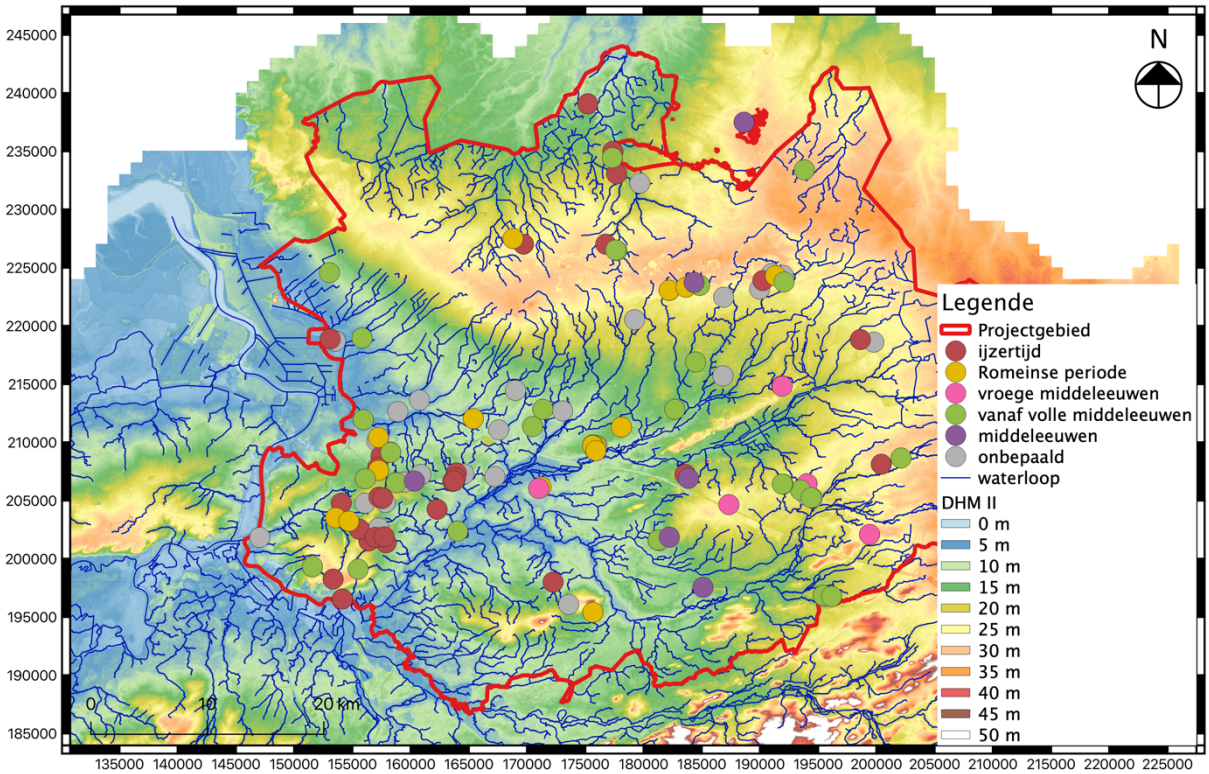


Fig. 5.18: Kaart met de relatie tussen het DHM en de datering van sites.

[16] Op deze kaart zijn geen sites opgenomen die zijn geassocieerd met een OB-bodemserie.

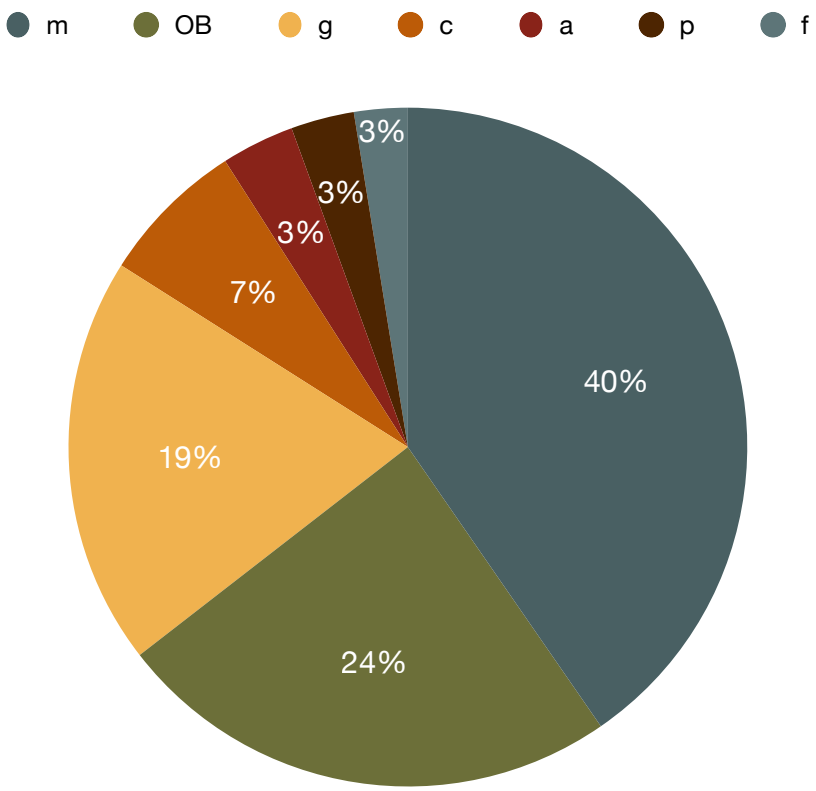


Fig. 5.19: Grafiek met de verdeling van de profielontwikkeling op 432 opgravingen binnen het projectgebied op basis van de CAI.

(archeologie)nota's	OB	m	g	c	p	f	a	h	b	x	Aantal
Alle	1126	1095	592	387	316	109	73	20	7	2	3734
Opgraving nodig	79	105	7	23	19	5	2	1			241

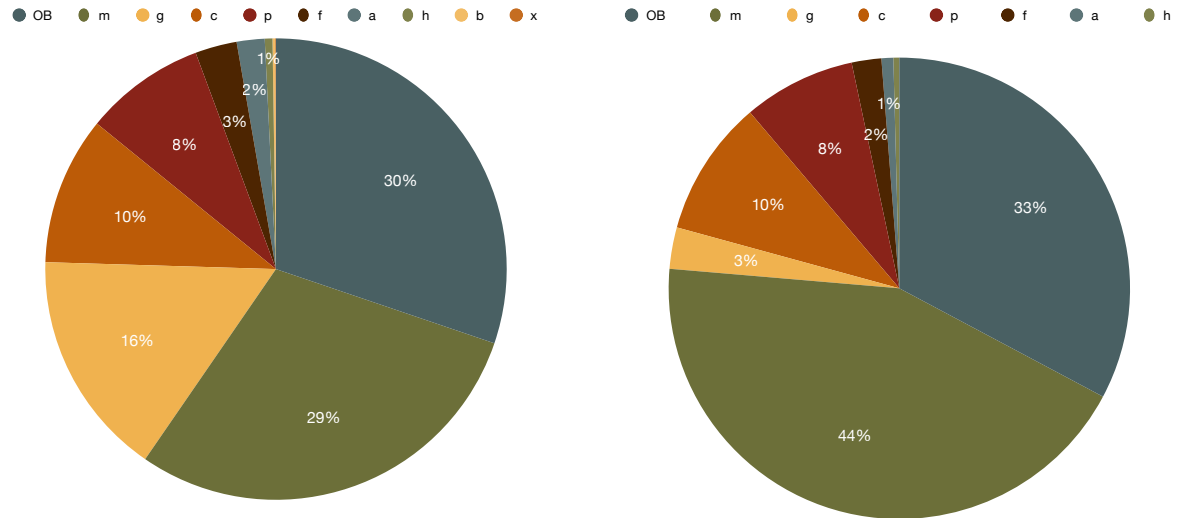


Fig. 5.20: Tabel en met de verdeling van de profielontwikkeling ter hoogte van 3734 (archeologie)nota's binnen het projectgebied. Links alle (archeologie)nota's, rechts diegene waarbij een opgraving noodzakelijk is.

5.2 Overzicht van archeologische vindplaatsen

De literatuurstudie toonde aan dat op zeer veel sites in de Antwerpse Kempen wel kleine fragmenten van metaalslakken voorkomen. Al deze kleinere fragmenten hebben evenwel weinig wetenschappelijk potentieel, vermits er niet echt gesproken kan worden van een duidelijk ensemble. Om deze reden is er gekozen om in onderstaand overzicht enkel de sites op te nemen die meer dan 1 kg aan metaalslak of aan metaalproductie gelinkte resten hebben opgeleverd. Het meeste materiaal werd macroscopisch bestudeerd door dr. Lente Van Brempt. Van enkele sites waren de vondsten niet beschikbaar en werd er gebruik gemaakt van de gegevens uit het rapport.[17] De slakken van enkele sites werden geselecteerd voor verdere wetenschappelijke analyse (*case studies*). Bij aanvang van iedere *case study* wordt een overzicht van de (site)context aangeboden.

5.2.1 Overzicht

5.2.1.1 Baarle-Hertog-Chaamseweg (2015/101)

In het voorjaar van 2015 werd door het VEC in samenwerking met ADC ArcheoProjecten een archeologische opgraving uitgevoerd ter hoogte van de Chaamseweg te Baarle-Nassau (NL)/ Baarle-Hertog (B). In totaal werd 13 228 m^2 onderzocht. Ondanks aanwezige verstoringen, werd er een duidelijk beeld verkregen van de vroegere bewoning ter hoogte van het plangebied.

Van de vroegste menselijke aanwezigheid uit de late prehistorie werden weinig sporen aangetroffen. In de Merovingische periode verschenen er twee gebouwen. Verder werden vier gebouwplattegronden blootgelegd die vermoedelijk dateren uit de Karolingische periode, vijf structuren die gebouwd werden volgens de vroegmiddeleeuwse traditie en een aantal gebouwplattegronden uit de volle middeleeuwen. Op het terrein waren een aantal waterputten aanwezig, waarvan de datering aansloot bij die van de gebouwplattegronden. Sommige waterputten kenden een meerfasige aanleg. Er waren dus afdoende aanwijzingen voor de aanwezigheid van meerdere erven door de tijd heen, maar de ruime datering van veel structuren maakte het moeilijk deze definitief toe te schrijven aan een bepaald erf. Vermeldenswaardig is de vondst van fragmenten van een ovenrooster. Uit de resultaten van archeobotanisch onderzoek kon afgeleid worden dat in de vroege en volle middeleeuwen veel graan werd verbouwd in de onmiddellijke omgeving van het onderzoeksgebied. Het landschap was zeer open, met graslanden en uitgestrekte heidevelden. In de eerste helft van de volle middeleeuwen leek de bewoning op de site uit te doven. In de late middeleeuwen werden de activiteiten evenwel hervat. In één van de waterputten werd een plank dendrochronologisch gedateerd in 1260. Daarnaast werd een vermoedelijke laatmiddeleeuwse veldoven of haardplaats geregistreerd. Verder zijn uit deze periode nog twee parallelle greppels opvallend, die vermoedelijk de locatie van verdwenen houtwallen aanduiden en mogelijk fungeerden als perceelgrenzen.

[17] Voor volgende vindplaatsen waren geen vondsten beschikbaar: Baarle-Hertog/Baarle-Nassau - Chaamseweg, Ekeren - De Schinde, Meerhout - Aardbezienstraat en Olen - Lammerdries.

Metallurgische resten

Tijdens het onderzoek zouden er 48 stuks slakmateriaal zijn aangetroffen met een totaal gewicht van 2,301 kg. Vermits de vondsten zich in het depot van ’s Hertogenbosch (Nl.) bevinden, werd dit evenwel niet geverifieerd. Het materiaal werd wel uitgebreid onderzocht en gerapporteerd. Alle slak behoorde tot de categorie van het smeedafval. Er werden 25 stuks als ijzerrijke smeedslak gedetermineerd, zeven stuks als silicaatrijke smeedslak, zeven als haardwand en negen als hamerslag. De slak werd over zeven werkputten verspreid gevonden, maar concentreerde zich voornamelijk in de werkputten 2 en 3, ter hoogte van een bewoningscluster. Twee slakken werden aangetroffen in twee waterputten, één slak in een vloerniveau en één slak in een kuil. De overige slakken werden, voor zover gekend, gevonden in paalkuilen. Bijna driekwart van alle slakfragmenten bevond zich in deze zone (ca. 50% op basis van gewicht). De kans werd groot geacht dat de voormalige smederij hier in de buurt had gestaan, omdat ook relatief lichte slakdelen in de putten zijn aangetroffen. In tegenstelling tot de zwaardere ijzerrijke smeedslakken werden dergelijke lichte slakken gewoonlijk niet gebruikt om bijvoorbeeld waterputten of kuilen op te vullen of om paden te verharden. Fragmenten met hamerslagconglomeraat, aangetroffen in werkput 3 ter hoogte van structuur 9, vormden evenwel de beste indicatie voor de locatie van de smederij.

De slakken werden gedateerd op basis van magnetisme en de verhouding tussen silicaatrijke en ijzerrijke slak, waarmee de kwaliteit van het gebruikte ijzererts te bepalen was. Deze kwaliteit varieerde doorheen de tijd en wees voor de Chaamseweg voornamelijk op een datering in de volle middeleeuwen. De vesiculaire structuur van de slak lijkt op een normale smeedtemperatuur te wijzen die eerder laag dan hoog was. Dit is een indicatie dat voornamelijk eenvoudig smeedwerk werd uitgevoerd, zoals bij een (kleine) agrarische nederzetting te verwachten is (*Van der Veeken & Weekers-Hendrikx 2020*).

5.2.1.2 Beerse-Oostmalseweg (2010/195)

In 2010 leidde de Archeologische dienst Antwerpse Kempen (AdAK) een opgraving aan de Oostmalseweg, ten westen van het centrum van Beerse. Tijdens het archeologisch onderzoek werden verspreid over het terrein 139 sporen en losse vondsten gedocumenteerd. Binnen het onderzochte gedeelte van de nederzetting werden twee huisplattegronden, een bijgebouw of huisplattegrond, resten van een omheining en zes kuilen aangetroffen. De hoofdgebouwen situeerden zich centraal in de werkput op hoger gelegen terrein, terwijl randstructuren zich in een lager gelegen zuidelijke zone bevonden. Er werd getracht een chronologisch onderscheid te maken in verschillende bewoningsfasen tijdens de late ijzertijd en de Romeinse periode. De huisplattegronden hadden een tweebeukige opbouw, waarbij het gewicht van het dak hoofdzakelijk op de middenstaanders rustte. De vroegste structuur dateerde vermoedelijk uit de late ijzertijd of vroeg-Romeinse periode. Na de opgave van deze constructie is ten zuiden hiervan een hoofdgebouw opgetrokken in de vroege of midden-Romeinse periode. Na de ontmanteling van deze structuur werd ten zuiden hiervan een hoofdgebouw met verdiept stalgedeelte gebouwd. Tijdens een volgende gebruiksfase van het gebouw werd de binnenruimte opengewerkt door het verwijderen van nokstaanders en het ingraven van zwaar gefundeerde wandpalen ter hoogte van de open ruimte. Desalniettemin bleek op bepaalde plaatsen in de binnenruimte een versteviging nodig. De laatste bewoningsfase wordt omstreeks het midden van

de 3de eeuw gesitueerd. Het hekwerk in het zuiden van het terrein is waarschijnlijk te linken aan een veekraal. Verzamelde vondsten konden evenwel weinig uitsluitsel geven omtrent de datering van de randstructuren in het zuiden van het terrein. De vastgestelde plattegronden maakten vermoedelijk deel uit van een Romeinse nederzetting, die zich meer naar het noorden toe bevond, op hoger gelegen terrein. Na de midden-Romeinse bewoningsfase lijkt de site te zijn verlaten en werd het plangebied schijnbaar hoofdzakelijk gebruikt als akker- en weiland (*Scheltjens e.a. 2012*).

Metallurgische resten

Tijdens deze opgraving werden 25 ijzerslakken ingezameld, met een totaal gewicht van 1,437 kg. Eenentwintig slakken zijn aangetroffen in een midden-Romeinse potstal, samen met technisch aardewerk. Drie slakken werden in een kuil uit de late ijzertijd - vroeg-Romeinse periode aangetroffen en de laatste metaalslak komt uit een niet nader gedateerde kuil. S100 leverde een fragment van een *tuyère* op. Deze kuil werd op basis van het gevonden aardewerk gedateerd in de overgang van de late ijzertijd naar de vroeg-Romeinse periode.

5.2.1.3 Boechout-Capenberg (2009/063)

In maart 2009 voerde de provinciale dienst Erfgoed Antwerpen een proefsleuvenonderzoek uit op een terrein te Boechout. Vrijwel onmiddellijk volgde er ook een opgraving van een gedeelte van het terrein. Hierbij kon een onderscheid gemaakt worden tussen duidelijke, ronde, donkergrijsbruine paalsporen, enkele grotere kuilen en 19 kleinere lichtgrijze sporen. Een concentratie van donkere grijsbruine paalkuilen behoorde tot hetzelfde bootvormige hoofdgebouw uit de volle middeleeuwen. Op basis van de sporenconfiguratie kon geen gebouwplattegrond afgeleid worden. De vindplaats lijkt te behoren tot de periferie van een woonzone uit de ijzertijd. Enkele grotere kuilen bleken mogelijk een restant van kleiwinning en bevatten naast bodemmateriaal weinig archeologisch materiaal. Opvallend was evenwel de aanwezigheid van slakken, hetgeen wijst op artisanale activiteiten. De kuilen die geen gelaagdheid vertoonden, bleken abrupt opgevuld (*Jacobs e.a. 2009*).

Metallurgische resten

Het rapport vermeldt voor deze site 20 metaalslakken, maar in het depot bleken 10 smeedslakken (1,555 kg), vijf fragmenten van brandstofasse-sintel (66 g) en een onbepaalde brok metallurgisch afval (8 g) aanwezig. Alle sporen met slakmateriaal bevonden zich in of nabij een volmiddeleeuws hoofdgebouw, wat een richtinggevende datering verschaft voor de metallurgische resten.

5.2.1.4 Brecht-AZ Ringlaan (2012/398)

De archeologen van Monument Vandekerckhove onderzochten in 2012 – 2013 een groot terrein aan de Ringlaan te Brecht. Tijdens het onderzoek werden meer dan vijftig hoofdgebouwen, een honderdtal bijgebouwen en een tiental waterputten aangetroffen. Er was bovendien ook een grafveld uit de metaaltijden aanwezig.

De oudste relicten betreffen silexartefacten uit de steentijd. De eerste tekenen van permanente occupatie dateren uit de midden-bronstijd, in de vorm van een beenderpakgraf en een driebeukig hoofdgebouw. Op de rest van het grafveld kwamen ook nog 47 grafmonumenten met een kringgreppel of palenkrans voor, alsook 87 urnen- of crematiegraven. Het grafveld werd gedateerd in de late bronstijd en de vroege ijzertijd, maar nederzettingssporen uit de late ijzertijd werden niet aangetroffen. Het fysisch antropologisch onderzoek leverde een gemiddelde sterfteleeftijd op rond 20 jaar, met een hoog sterftecijfer voor de kinderjaren. Slechts 4% van de populatie was ouder dan 40 jaar. Tijdens de midden-bronstijd concentreerde de bewoning zich vermoedelijk op de overgang van hoger- naar lagergelegen terrein. Deze verplaatste zich in de vroege en midden-ijzertijd volledig naar het lagergelegen terrein. Vier huisplattegronden werden op basis van de constructiewijze (types *Oss-Ussen 2A en 2B*) in de vroege ijzertijd gedateerd. Tijdens de midden-ijzertijd en het begin van de late ijzertijd werden vier hoofdgebouwen ingericht van het type *Oss-Ussen 4* of *Haps*. De plattegronden oversneden enkele graven, waardoor wordt vermoed dat de markeringen van de urnengraven op dat moment niet meer zichtbaar waren in het landschap. Twee plattegronden met vierbeukige opbouw werden eerder in overgang naar de late ijzertijd gedateerd. Op dat moment verplaatste de bewoning zich terug richting hoger gelegen terrein. Verder dateerden dertien andere hoofdgebouwen uit de late ijzertijd. De gebouwen leken doorheen de late ijzertijd ook steeds langer te worden. Ten slotte zijn er in de late ijzertijd nog drie huizen van het type *Oss-Ussen 5* opgericht. Over het algemeen leken de woonerven in de vroege en midden-ijzertijd eerder verspreid te hebben gelegen, terwijl er tijdens de late ijzertijd clusters ontstonden van ca. drie woningen met randstructuren.

De bewoning zette zich verder tijdens de vroege en midden-Romeinse tijd, met het verschijnen van twee plattegronden van het type *Alphen-Ekeren*. Tijdens de midden-Romeinse periode verschenen de woonstalhuizen met verdiept stalgedeelte, de zogenaamde potstalwoningen. Van dit type werden er aan de Ringlaan tien opgegraven. De opgave van de meest recente structuur werd gedateerd rond het midden van de 3de eeuw. Na de opgave van de Romeinse nederzetting bleef het terrein onbewoond tot in de volle middeleeuwen, al zijn er wel aanwijzingen voor bewoning in de omgeving tijdens de vroege middeleeuwen. Tijdens de tweede helft van de 12de eeuw en de vroege 13de eeuw werd uiteindelijk nog een omgracht meerfasig woonerf ingericht. Nadien bleef het projectgebied onbewoond (*Bracke e.a. 2013*).

Metallurgische resten

De opgraving leverde 15 ijzerslakken op, met een totaalgewicht van 3,374 kg. Verder werden er nog een vijftal fragmenten metallurgisch afval (brandstofasse-slak en -sintel) gevonden. S7000 en S7630 bevatten ten slotte nog twee fragmenten technisch aardewerk. De metallurgische resten kwamen verspreid over de site voor en zijn zowel afkomstig uit sporen uit de ijzertijd als uit de Romeinse periode. De sporen waren voornamelijk geassocieerd met plattegronden van woonhuizen, al waren enkele vondsten afkomstig uit waterputten.

5.2.1.5 Ekeren-De Schinde (Site A276, niet gepubliceerd)

De site werd opgegraven door archeologische dienst van Antwerpen. Hiervan is nog geen opgravingsverslag gepubliceerd. Het zou gaan om een woonzone met artisanale activiteiten. Er zijn drie (ambachtelijke) kuilen aangetroffen, waarvan één exemplaar met een grote hoeveelheid ijzerslakken, en een waterput. Er werden tijdens deze opgraving 47 metaalslakken aangetroffen met een totaalgewicht van 9,384 kg.

5.2.1.6 Geel-Eikenvelden I (2011/170, 2011/250 en 2011/443)

Tussen 2011 en 2012 leidde Condor Archaeological Research een grote opgraving van drie terreinen aan de Eikenvelden te Geel. De oudste bewoning op het terrein dateert uit de midden bronstijd. De sporen uit deze periode bleven wel beperkt tot één huisplattegrond. Vanaf de vroege ijzertijd ontwikkelde er zich een meer intense bewoning, met acht huisplattegronden uit de overgang van de vroege naar de midden ijzertijd en drie niet nader te dateren bijgebouwen. Verspreid over de bewoningszone werden maar liefst tweeëntachtig spiekers teruggevonden. Vaak zijn deze structuurtjes echter slecht dateerbaar, wat maakt dat ze ook uit de Romeinse tijd of de middeleeuwen kunnen stammen. Bij de huizen waren ook een waterput en enkele afvalkuilen gelegen. Zes van de woningen situeerden zich ten noordwesten van een grafveld, twee ten zuiden ervan. Het grafveld bestond uit maar liefst 85 kringgreppels, 16 langbedden en 17 brandrestengraven. Fysisch antropologisch onderzoek toonde aan dat er overledenen van alle leeftijden begraven lagen, gaande van baby's tot ouderen. Radiokoolstofdateringen plaatsen de crematiegraven rond 800 v.C., op de overgang van de bronstijd naar de vroege ijzertijd. De kringgreppels en de langbedden konden niet nauwkeuriger gedateerd worden.

Vanaf de tweede helft van de midden ijzertijd lijkt het terrein tijdelijk verlaten te zijn tot in de late ijzertijd. Vier plattegronden van het type *Oss 5A* wijzen op nieuwe bewoning rond de overgang van de late ijzertijd naar de Romeinse periode. Deze huizen werden op een gegeven moment vervangen door vijf woningen van het type *Alphen-Ekeren*. De structuren konden, door het ontbreken van geschikt materiaal, niet nauwkeuriger worden gedateerd dan Romeins. De bewoning situeerde zich wel iets zuidelijker dan deze uit de ijzertijd. Drie houtskoolrijke brandrestengraven behoorden eveneens tot deze periode. Het enige dateerbare bewoningsspoor betrof een waterput. Dendrochronologisch onderzoek leverde een datering van de constructie op tussen 35 v.C. en 27/28 n.C. Een tweede waterput was niet voorzien van een houten bekisting, maar was opgevuld met een grote hoeveelheid *tegulae* en *imbrices*. Bij de Romeinse nederzetting hoorden ook drie brandrestengraven, waarvan één met behulp van de ^{14}C-methode gedateerd werd tussen 130 en 250/260 n.C.

Na de Romeinse bewoningsfase werd het terrein opnieuw verlaten. Pas in de 7de eeuw dook er weer bewoning op aan de Eikenvelden. Tijdens de 7de tot de 9de eeuw werd er volop geëxperimenteerd met bouwvormen. Dit leverde één- tot vierbeukige plattegronden op met een zeer gevarieerde palenzetting. Algemeen lijkt er wel doorheen de tijd een evolutie te zijn, waarbij grotere binnenruimtes werden gecreëerd. Minstens vijf waterputten behoorden tot de vroegmiddeleeuwse nederzetting. Ook een deel van de hierboven vermelde spiekers is waarschijnlijk vroegmiddeleeuws. De

vroegmiddeleeuwse bewoning lijkt minder sterk geclusterd geweest te zijn dan die uit de vorige periodes. De structuren lagen verspreid rondom en op het grafveld uit de metaaltijden.

Tussen de tweede helft van de 9de eeuw en het laatste kwart van de 11de eeuw lijkt er opnieuw een hiaat in de bewoning te zijn geweest. Vanaf 1075 vestigden zich nieuwe bewoning aan de Eikenvelden en dit tot circa 1350. Per bewoningsfase waren er maximaal twee huizen bewoond. De volmiddeleeuwse bewoning lag echter sterk geclusterd in het centrale en oostelijke deel van het projectgebied, waardoor oudere sporen vergraven werden bij de bouw van nieuwe huizen. Opvallend is dat er slechts twee waterputten uit de volle middeleeuwen aangetroffen zijn. Rondom de nederzetting waren verschillende greppels uitgegraven, die als perceelsafbakening geïnterpreteerd kunnen worden. Veertien kuilen, ten slotte, dienden als afvalkuilen.

Metallurgische resten

Het opgravingsverslag maakt melding van 131 metaalslakken, afkomstig uit 70 verschillende sporen. In 90% van de gevallen gaat het om ijzerslakken. Het merendeel van de sporen (n= 61) kan echter niet nauwkeuriger gedateerd worden dan de ijzertijd/Romeinse periode. De overige sporen dateren uit de volle middeleeuwen en het begin van de late middeleeuwen. Een duidelijke concentratie van het materiaal werd opgemerkt rond het volmiddeleeuws bootvormig huis (structuur 35). De onderzoekers gingen ervan uit dat het eerder kleine ensemble wijst op een incidentele bezigheid voor lokaal gebruik, bijvoorbeeld voor landbouwwerktuigen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat er in het opgravingsverslag of de vondstenlijst geen gewichten worden vermeld. De slakken bleken ook niet aanwezig te zijn in het depot. Het is daarom niet met zekerheid te zeggen dat de identificaties accuraat zijn.[18] (*Mervis & Deville 2014*).

5.2.1.7 Geel-Kanunnikenblok (2014/137)

BAAC Vlaanderen onderzocht in de maanden april-mei 2014 een terrein gelegen aan het Kanunnikenblok te Geel. Binnen het projectgebied was een meerperiodensite aanwezig met structuren vanaf de ijzertijd tot de 10de eeuw. Er werden 503 spoornummers uitgedeeld, waarvan er 176 uiteindelijk aan natuurlijke sporen bleken te zijn toegewezen.

Het ontbreken van duidelijk diagnostisch vondstmateriaal maakte het niet altijd makkelijk om de opgegraven structuren te dateren. Over het algemeen bevonden de restanten uit de vroege ijzertijd zich op de flank van een hoger gelegen en dus droger deel van het landschap. De structuren uit deze periode lagen enigszins geclusterd en vertegenwoordigen mogelijk een klein woonerf. Structuur 4 zou een hoofdgebouw geweest kunnen zijn. Mocht dit niet het geval zijn, dan gaat het om een concentratie van kleine bijgebouwen aan de rand van een nattere zone. Deze was niet geschikt als akker en enkel te gebruiken als weidegrond. Slechts één plattegrond kon op basis van de palenzetting met zekerheid als Romeins worden gedateerd. Of het om een vroege dan wel late structuur gaat, is niet duidelijk. Het is eveneens onduidelijk of het een hoofd- of bijgebouw betreft.

[18] Tijdens de depotbezoeken is namelijk gebleken dat brokken ijzeroer of limoniet op meerdere opgravingen als slak waren opgenomen in de vondstenlijsten.

Tijdens de middeleeuwen werd het terrein in verschillende fasen bewoond. De oudste structuren gaan terug tot de 7de-8ste eeuw en mogelijk hoorde hier ook een boomstamwaterput bij. Op basis van natuurwetenschappelijk onderzoek van de waterputvulling kon de ecologische gesteldheid van het paleolandschap tijdens de vroege middeleeuwen gereconstrueerd worden. Ter hoogte van de nederzetting kwamen verschillende biotopen samen, waarbij zowel akkers, weilanden als moerasbos in de onmiddellijke omgeving voorkwamen. Dit maakte de locatie aantrekkelijk voor bewoning, vermits de verschillende biotopen in verschillende voedselbronnen en grondstoffen konden voorzien. De bewoning duurde voort tijdens de Karolingische periode, afgaande op een plattegrond die op de overgang van de 9de naar de 10de eeuw werd gedateerd (*Dyselinck 2016*).

Metallurgische resten

De opgraving leverde slechts een klein metallurgisch ensemble op. In totaal werden er vier (mogelijk vijf) ijzerslakken gevonden met een gewicht van 1,340 kg. Enkele brokken ijzeroer en limoniet zijn te interpreteren als erts. Ten slotte werden er nog twee fragmentjes metallurgisch afval en een stuk technisch aardewerk ingezameld.

5.2.1.8 Hove-Cueteghem (Debruyne e.a. 2015)

Tijdens opgravingen in de jaren 1999-2002 werd in de gemeente Hove een meerperiodensite onderzocht door het Instituut voor het Archeologisch Patrimonium (IAP). De oudste sporen gingen terug tot de ijzertijd, maar het gros van de restanten dateerde uit de vroege en volle middeleeuwen. De site was bewoond vanaf de Merovingische periode. Vermoedelijk bestonden er meerdere erven, afgaande op het aantal waterputten, al konden slechts twee structuren met zekerheid aan deze periode worden toegewezen. De sporen uit de overgang van de laat-Karolingische periode naar de volle middeleeuwen bleven beperkt in aantal. Het gaat om een waterput, plattegrond en enkele afvalkuilen. De kuilen zijn vermoedelijk iets ouder, waarschijnlijk gaat het om ontginningskuilen, die nadien werden opgevuld bij de ingebruikname van een ander deel van het terrein. In de 10de-11de eeuw waren er twee aparte bewoningskernen op de site. Het eerste erf lag in het westen en bestond uit een bootvormig gebouw, een waterput, een (hooi)mijt en een spieker. In het oosten bevonden zich meerdere bootvormige gebouwplattegronden rondom een waterput, geflankeerd door een groot vierpalige bijgebouw. Twee plattegronden werden met zekerheid als woonhuis geïdentificeerd. Ze vertoonden ook sporen van herstellingen. De overige gebouwen fungeerden waarschijnlijk als schuur en/of stal. De laatste occupatiefase situeert zich in de 11de en 12de eeuw. Zowel in het oosten als in het westen bestond er in deze periode een bewoningscluster. Eén van de erven werd begrensd door een nieuwe gracht en voorzien van een veekraal. Het begrenzen van erven is een gebruik dat in het Maas-Demer-Scheldegebied voornamelijk werd toegepast op nederzettingen die dateren na 1125. Na de 12de eeuw is de site evenwel verlaten. De aanwezigheid van importaardewerk uit het Rijn- en het Maasland wijzen erop dat de site handelscontacten onderhield.

Metallurgische resten

Het opgravingsverslag maakt geen melding van metaalslakken. In het depot bleken er voor deze site zeven ijzerslakken bewaard te zijn, met een gewicht van 1,730 kg. Het gaat om zes smeedslakken en een mogelijke vloeislak.

5.2.1.9 Kontich-Alfsberg (Annaert 1993; Annaert 1995)

De Alfsberg situeert zich op een heuvelkam bij het cuesta-reliëf van het 'Land van Boom'. Op deze locatie hebben sinds de jaren 70 verschillende archeologische onderzoeken plaatsgevonden. Tussen september 1972 en juli 1973 werden veertien kleine werkputten (ca. 3 x 4 m) gegraven. Hierin werden enkele paalkuilen, een rechthoekige greppelstructuur en twee kuilen aangesneden. Op het aanpalende perceel deed de Antwerpse Vereniging voor Romeinse Archeologie (AVRA) in 1989 en 1990 een werfcontrole. Hierbij werden een greppel en een onvolledige structuur opgemerkt. Dit gaf aanleiding tot een meer uitgebreid onderzoek door de AVRA. Er werden twee grote sleuven gegraven. De eerste sleuf leverde 13 grote kuilen, een gebouwplattegrond en een diepe (gracht)depressie op. In de tweede sleuf werden enkele losse paalkuilen en een ander segment van de gracht aangesneden. Nadien werd de eerste sleuf uitgebreid om het verloop van de gracht beter in kaart te brengen. Boringen toonden bovendien aan dat deze tot zeker 4,5 m onder het maaiveld was uitgegraven. Uiteindelijk werd het onderzoek overgenomen door het IAP en werd een zone van 2331 m^2 opgegraven.

De oudste tekenen van menselijke aanwezigheid gingen terug tot enkele artefacten uit het epi-paleolithicum en het mesolithicum. De vroegste bodemsporen dateerden uit de ijzertijd. In de zuidoostelijke zone van de site stond een vierpalige spieker. Rondom deze structuur waren nog wel enkele geïsoleerde paalkuilen aanwezig, maar deze konden niet aan een gebouw worden toegewezen. Op de centrale zone van de Alfsberg werden zes gebouwplattegronden ontdekt met een noordwest-zuidoost oriëntatie. Het ging om eenvoudige éénschepige structuren met bescheiden afmetingen. Vermoedelijk waren deze min of meer gelijktijdig en dateren ze uit de midden-ijzertijd. De functie ervan blijft echter een raadsel. Mogelijk gaat het om kleine bijgebouwen bij grotere woonhuizen die buiten het projectgebied waren gelegen.

Het hoogstgelegen gedeelte van het plateau werd ingenomen door een grotere structuur (structuur IX). Het betrof een tweeschepig gebouw met een kleine aanbouw. Een deel van de paalkuilen bevatte verbrand sediment met houtskool, wat doet vermoeden dat het gebouw afbrandde. Een scherf verbrand pompeiaans rood aardewerk uit één van de kernen wijst erop dat de structuur waarschijnlijk tijdens de Romeinse periode vernield raakte. Een aantal kuilen bevatte eveneens duidelijk Romeins materiaal. De site was geassocieerd met een tweeledige rechthoekige greppelstructuur. Deze vormde een afgebakende ruimte van 27,8 m op minstens 36,2 m en 35 m (onvolledig) op 23 m (onvolledig). Elk deel had een ingang langs de zuidoostelijke zijde. Een eventuele poort of poortgebouw werd niet aangetroffen. In de greppels die de westelijke ruimte afbakenden was wel duidelijk een palissadestructuur waar te nemen. Een andere palenrij had dezelfde oriëntatie als de greppels en stond hier waarschijnlijk mee in verband. Gezien de gelijkaardige oriëntatie wordt ook de grotere structuur IX tot dezelfde periode gerekend. Het meest in het oog springende spoor was de 8 m brede, 4 m diepe gracht rondom de site. Na bijkomende opgravingen in 1995 kon de volledige grachtstructuur worden

onderzocht. De structuur had een lengte van 65 m en een breedte van 55 m. De vrije ruimte binnen de wal besloeg 38 bij 26 m. De gracht werd in twee fasen opgevuld. Een eerste demping vond plaats op de overgang naar de Romeinse periode. Nadien werd in de 1ste eeuw n.C. de rest van de gracht opgevuld. Welke functie deze gracht vervulde was niet geheel duidelijk. Het complex, zonder gracht, doet denken aan de zogenaamde *Viereckschanzen*, *fermes indigènes* of de versterkte *Quadrat-* of *Herrenhöfe*. Echter, van geen enkele van de zonet vernoemde monumenten is de functie volledig duidelijk. Er lijkt een link te zijn met een aristocratisch deel van de gemeenschap, maar dan nog is het niet geweten of het om een louter rituele plaats gaat of dat er ook andere activiteiten binnen deze afgebakende ruimtes plaatsvonden. In Kontich werd deze ruimte geïnterpreteerd als een openluchtheiligdom, op basis van overeenkomsten met Noord-Franse en Zuid-Duitse heiligdommen. Het uitgraven van de gracht en het opwerpen van een wal, in een latere fase, zorgde er mogelijk voor dat de plaats een veilig toevluchtsoord kon vormen in tijden van nood. De Gallische oorlogen van Caesar maakten de streek onveilig en op meerdere plaatsen in Gallia Belgica werden *oppida* en *castella* verlaten en vluchtburchten opgetrokken. Het lijkt erop dat enkele nederzettingen rond de Alfsberg als gevolg van de Romeinse dreiging een gemeenschappelijk toevluchtsoord hebben gecreëerd. Echte bewoning lijkt er in deze periode niet op de Alfsberg te zijn geweest.

Waarschijnlijk vestigde zich in de Romeinse periode een nieuwe bevolkingsgroep op de Alfsberg. In de oostelijke zone van de opgraving werden een aantal sporen opgemerkt die recenter waren dan deze uit de ijzertijd. Ter hoogte van een concentratie paalkuilen was een noord-zuid georiënteerd gebouw aanwezig. De plattegrond was niet volledig zichtbaar, maar het zou gaan om een klein meerschepig gebouw met een lengte van minstens 5,65 m. Verder werden er nog een aantal kuilen onderzocht. Het betrof wellicht afvalkuilen, al kunnen er ook enkele silo's aanwezig zijn geweest. Het gebouw was dan mogelijk een agrarisch bijgebouwtje bij deze kuilen. Mogelijk behoorde de onvolledige structuur uit het onderzoek van 1989/90 tot dezelfde fase. Bij de Romeinse nederzetting hoorde ook nog een rechthoekige greppelstructuur.

Metallurgische resten

De grote campagne van begin de jaren 90 leverde volgens het rapport slechts 10 metaalslakken op. Verder werden er ook nog enkele brokken limoniet ingezameld, een mineraal dat lokaal in de ondergrond voorkomt. Het limoniet bevatte echter te weinig ijzeroxide om bruikbaar te zijn als grondstof voor metaalproductie. Tijdens de opgraving van 1995 werden bijkomend nog slakken ingezameld, waarvan de meeste afkomstig uit de grachtvulling. Uiteindelijk bleek in het depot dat het metallurgisch ensemble uit zeker 86 stuks bestond (8,619 kg). Er waren 59 ijzerslakken (7,383 kg), twee fragmenten technisch aardewerk (37 g), en 25 stukken metallurgisch afval (0,593 kg, bestaande uit brandstofasseslak en concreties) aanwezig.

5.2.1.10 Lier-Duwijck II (2010/439 en 2011/306)

Verspreid tussen december 2010 en mei 2012 onderzocht GATE Archaeology de zone van het geplande bedrijventerrein Duwijck II in Lier. Een concentratie laatmesolithische artefacten vormde het oudste materiële bewijs van menselijke aanwezigheid in het gebied.

In het westen van de opgravingszone ontstond in de midden-ijzertijd een eerste permanente nederzetting in een bosrijke omgeving. Er konden zeker vijf woonplaatsen worden onderscheiden. Een erf bestond uit telkens uit een hoofdgebouw, één of meerdere bijgebouwen, een waterput en enkele kuilen. Sommige erven waren voorzien van een afbakening door middel van greppels. In de loop van de ijzertijd leek de bewoning zich meer te concentreren op het hoger gelegen westelijke terreingedeelte, begrensd door een brede gracht. Rond de overgang naar de Romeinse periode scheen de nederzetting zich te hebben verplaatst in de richting van de Duwijckloop. In dit opzicht was de zesde 'woonplaats' interessant, omdat deze zich meer richting het oosten bevond aan de rand van de Romeinse nederzetting. Het hoofgebouw was een noordnoordwest-zuidzuidoost georiënteerde, vijftienpalige, tweeschepige structuur met diepe nokstaanders. Vlak naast het gebouw lag een waterput. Mogelijk bood dit atypische gebouw ruimte voor artisanale activiteiten. Eén van de waterputten uit de midden ijzertijd (S3243) bevatte immers 69 fragmenten ijzerslak (18,5 kg). Het gaat om komvormige resten van het smeden van ijzer, dus een secundair proces: het omvormen van ruw ijzer (ijzerwolf) tot gezuiverde blokken metaal of gebruiksvoorwerpen. Vermoedelijk ging het niet om een specialisatie, maar vormde het smeden één van de vele activiteiten die de bewoners uitvoerden op hun erf.

De Romeinse nederzetting bevond zich in het noordoosten van het projectgebied en liep ook door buiten de grenzen van de opgraving. De sporen waren sterk geclusterd in de nabijheid van de Duwijckloop. Er waren meerdere bewoningsfasen, maar per fase stonden er waarschijnlijk minstens twee gelijktijdige woonhuizen. Een waterput, bijgebouw en een mogelijk hoofdgebouw dateren uit de vroegste jaren van Romeinse aanwezigheid in onze streken, namelijk tussen 50 v.C. en 50 n.C. De eerste duidelijk Romeinse plattegronden van het type *Alphen-Ekeren* verschijnen in de tweede helft van de 1ste eeuw n.C. In totaal werden er acht hoofdgebouwen aangetroffen, wat wijst op een continue occupatie van een 100 à 140 jaar op deze locatie. De omliggende gronden waren waarschijnlijk in gebruik als akker of weideland, met een meer intense akkerbouw dan tijdens de ijzertijd. Een kuil met een grote hoeveelheid secundair verbrand aardewerk, granen en zaden en gebroken maalstenen werd als een verlatingsoffer geïnterpreteerd.

Na het opgeven van de Romeinse nederzetting ontstond er een hiaat in de bewoning. De eerstvolgende tekenen van een permanente aanwezigheid doken pas terug op in de vorm van een volmiddeleeuws erf (10de – 12de eeuw). Nadien werd het terrein opnieuw verlaten tot in de 18de eeuw, wanneer er langs de Antwerpse Steenweg en de Klaplaar opnieuw hoeves bewoond werden (*Cryns e.a. 2014*).

Metallurgische resten

Op de site werden 67 ijzerslakken ingezameld (8,475 kg), alsook 25 fragmenten mogelijk metallurgisch afval (waaronder een aantal brandstofasse-slakken en -sintels) en negen stukken technisch aardewerk. Waterput S3243 bevatte het grootste aantal vondsten, namelijk 60 slakken, 12 fragmenten metallurgisch afval en zes stukken technisch aardewerk.

5.2.1.11 Meerhout-Aardbezienstraat (2020C50)

In 2020 voerde A&B Archeologie tussen april en juni een opgraving uit aan de Aardbezienstraat te Meerhout. Er werd een site onderzocht uit de overgang van de laat-Romeinse periode naar de vroege middeleeuwen.

Binnen de onderzoekszone werden een hoofdgebouw, drie vierpostenspiekers en een sporencluster geïdentificeerd. Mogelijk zijn er nog meer structuren aanwezig binnen de sporencluster, maar deze konden niet met zekerheid onderscheiden worden. Het hoofdgebouw lag centraal in de onderzoekszone en had een oost-west oriëntatie. In het oostelijke deel van het gebouw was een ovenstructuur aanwezig. Indien deze gelijktijdig was aan het gebouw, zou dit mogelijk als een soort atelier kunnen worden gezien. Op basis van het vondstmateriaal werden beide structuren in de vroege middeleeuwen gedateerd. Eén van de spiekers werd via de ^{14}C-datering gedateerd tussen 540 en 640 n.C. De andere spiekers vertonen grote uiterlijke overeenkomsten en zijn waarschijnlijk ook in deze periode opgericht. In het noordoosten van de opgraving lag een grote cluster aan paalkuilen, waarvan er één werd gedateerd tussen 420 en 570 n.C. Ten slotte vonden de archeologen twee inhumatiegraven, met een datering in de Merovingische periode.

Verspreid over het projectgebied lagen ook een dertigtal sporen, die mogelijk geïnterpreteerd kunnen worden als veldhaardjes. De haarden waren cirkelvormig, langwerpig of druppelvormig en bij enkele konden er meerdere gebruiksfasen worden onderscheiden. Over de functie van deze haarden heerst echter onduidelijkheid. Er werden verhoudingsgewijs vrij weinig metaalslakken gevonden, waardoor het eerder onwaarschijnlijk is dat de haarden gelinkt zouden zijn aan metaalbewerking. Ook voor voedselbereiding werden niet afdoende bewijzen aangetroffen. De sporen worden gedateerd tussen de 3de en de 7de eeuw n.C. (*Acke e.a. 2022*).

Metallurgische resten

Verspreid over de volledige site werden in totaal 176 metaalslakken (ca. 11,344 kg) ingezameld.

5.2.1.12 Olen-Lammerdries (2010/368 en 2011/065)

Gefaseerd tussen oktober 2010 (deelgebied 1) en maart 2011 (deelgebied 2) voerde Condor Archaeological Research een opgraving uit aan de Lammerdries te Olen. Bij de opgraving van deelgebied 1 werden nederzettingssporen uit de metaaltijden aangetroffen. Er werden verschillende kuilen onderzocht, die werden geïnterpreteerd als afvalkuil of silo. De silo werd op basis van een ^{14}C-datering in de midden-bronstijd geplaatst. Ten noorden van de Lammerdries-Winkelstraat waren daarvoor ook al enkele afvalkuilen uit deze periode aangetroffen. Een ondiepe kuil bleek na ^{14}C-analyse nog ouder en dateerde uit het finaal-neolithicum. Drie éénschepige gebouwen, mogelijk schuurtjes of opslagplaatsen, stammen waarschijnlijk uit de ijzertijd.

Ter hoogte van deelgebied 2 was een site uit de middeleeuwen aanwezig. In het zuiden van dit deelgebied bevond zich een laatmiddeleeuws wegtracé, geflankeerd door twee greppels. Mogelijk werd deze weg voorafgegaan door een oudere voorganger. Er werd een waterput aangetroffen, die

op basis van het aardewerk wordt gedateerd in de vroege middeleeuwen. Twee kleine gebouwtjes lagen in de nabije omgeving en waren mogelijk gelijktijdig. Er werden twee hypothetische gebouwplattegronden gereconstrueerd, die waarschijnlijk ook uit deze periode dateren. De noordelijke sporencluster werd afgesloten door een greppel uit de volle middeleeuwen. Binnen de cluster stonden minstens vier (mogelijk volmiddeleeuwse) gebouwen. Een eerste structuur was een éénschepig rechthoekig gebouw, waarvan de functie onduidelijk is. Naast het gebouw lag wel een kuil met haardafval. Een tweede éénschepig gebouw was mogelijk een kleiner bijgebouw, dat op basis van ^{14}C-dateringen echter vroegmiddeleeuws leek te zijn. Twee andere plattegronden waren slechts gedeeltelijk zichtbaar, waardoor hun functie onduidelijk bleef. In het noorden van deelgebied 2 werd ten slotte nog een grote cluster paalkuilen opgegraven. In deze cluster zijn vermoedelijk ook nog plattegronden aanwezig, maar deze zijn niet herkend. Twee mogelijke plattegronden lijken vroegmiddeleeuws, o.a. op basis van hun oversnijding door een volmiddeleeuwse erfgreppel.

Metallurgische resten

Het opgravingsverslag maakt melding van 81 metaalslakken die allemaal afkomstig zijn uit deelgebied 2 en dus behoren bij de middeleeuwse nederzetting. Het merendeel van de slakken is afkomstig uit de waterput (S200), de overige fragmenten uit de greppels bij het wegtracé. Andere sporen van metaalverwerking werden niet aangetroffen op de site (*Van de Velde e.a. 2013*).

5.2.1.13 Oud-Turnhout-Bentel (2010/107 en 2010/198)

In 2010 heeft de Archeologische dienst Antwerpse Kempen (AdAK) een terrein opgegraven aan de Bentel, op de grens tussen Turnhout en Oud-Turnhout. De Bentel is een noordwest-zuidoost georiënteerde dekzandrug, die op de westelijke uitloper ligt van een microcuesta. Binnen de contouren van het projectgebied werd een meerperiodensite aangetroffen, daterend vanaf de Romeinse tijd tot en met de volle middeleeuwen. Het merendeel van de sporen en structuren bevond zich op de overgang naar hoger gelegen terrein in het centrale en oostelijke deel van de opgraving. In de lager gelegen westelijke zone werden twee hoofdgebouwen en verscheidene randstructuren uit de volle middeleeuwen aangetroffen. Waarschijnlijk verplaatste de bewoning zich naar minder vruchtbare gronden, zodat er meer vruchtbaar terrein vrij was voor landbouw.

De oudste antropogene sporen waren twee vroeg-Romeinse grafmonumenten in het zuiden van de opgravingszone. Het gaat om twee rechthoekige greppelstructuren, waarbij de eigenlijke graven of grafkuilen niet bewaard zijn. Het proefsleuvenonderzoek ten zuiden van de opgravingszone bracht een concentratie aan sporen uit de ijzertijd of de Romeinse periode aan het licht, waarmee deze grafmonumenten mogelijk verband houden. Ten westen van deze Romeinse sporen bevond zich een gebouwplattegrond uit de vroege middeleeuwen. Het gaat om een noordoost-zuidwest georiënteerde structuur met een minimale lengte van 11,5 m. De plattegrond bevond zich gedeeltelijk buiten de opgravingszone, maar de palenzetting doet een drie- tot vierbeukige opbouw vermoeden.

Het merendeel van de sporen en structuren behoort tot enkele woonerven uit de volle middeleeuwen. Binnen de contouren van het projectgebied bevonden zich zes hoofdgebouwen, vier bijgebouwen of schuren, zevenentwintig spiekers, tweeëntwintig kuilen, vier waterputten en vier greppelstructuren.

Op basis van de oversnijdingen bleek sprake te zijn van een fasering. De hoofdgebouwen hadden een bootvormige, driebeukige constructie, die bestond uit twee tot vijf gebinten ter hoogte van de lange zijden en sluitpalen aan de korte zijden. Bij enkele gebouwen werden ook ingangspartijen, haardconstructies of stalelementen aangetroffen. In de onmiddellijke nabijheid van de woonstalhuizen zijn verschillende typen van bijgebouwen gevonden. Meestal gaat het ook om bootvormige constructies, die waarschijnlijk gebruikt werden voor de opslag en verwerking van goederen of voor het stallen van vee. Aan de rand van de nederzetting stonden verschillende spiekers in clusters van twee tot acht gebouwen. Vermits dit type structuur lange tijd in gebruik is geweest, zijn de spiekers erg moeilijk te dateren. Ten slotte werden in enkele clusters paalkuilen nog hypothetische gebouwen gereconstrueerd, maar hiervan is een eventuele functie of datering niet bekend. Rondom de woningen werden ook verschillende kuilen onderzocht. Op basis van hun uiterlijke kenmerken en vullingen werden deze opgedeeld in afvalkuilen, voorraadkuilen, mestkuilen, waterkuilen en een latrine (een diepe kuil met een donkere humeuze vulling). De waterputten bevonden zich in de nabijheid van de bewoningskern. Ze vertoonden onderling grote verschillen in opbouw. Eén put had een vierkante houten bekisting, één een ronde houten bekisting en één was opgebouwd uit een uitgeholde boomstam. De vierde put stortte jammer genoeg in tijdens het couperen, waardoor het niet mogelijk was om de volledige opbouw ervan te registreren.

Er werd getracht om de verschillende woonerven te faseren. Algemeen dateert de nederzetting uit de late 10de eeuw tot het midden van de 13de eeuw. Het oudste erf situeerde zich waarschijnlijk rond hoofdgebouw 1. Deze fase werd opgevolgd door bewoning op de erven rond hoofdgebouwen 2 en 3, al is het niet duidelijk of deze volledig gelijktijdig bewoond waren. Bij hoofdgebouw 3 hoorden waarschijnlijk een driebeukig bijgebouw, enkele spiekers en een waterput. Op basis van het aardewerk en de typologie van de structuren dateert deze fase rond de tweede helft van de 11de eeuw. Nadien verschoof de bewoning in noordwestelijke richting, ter hoogte van hoofdgebouwen 4 en 5. Een greppelsysteem omsloot het erf van woongebouw 4, waartoe ook een tweebeukig bijgebouw, talrijke spiekers en kuilen en mogelijk ook een driebeukige schuur behoorden. Hoofdgebouw 5 was mogelijk gelijktijdig met hoofdgebouw 4 of iets later. Het erf rond hoofdgebouw 4 werd gedateerd rond de tweede helft van de 12de eeuw, terwijl hoofdgebouw 5 waarschijnlijk eerder uit de late 12de eeuw of het midden van de 13de eeuw stamde. Een hypothetisch zesde hoofdgebouw zou erop kunnen wijzen dat er ook tijdens het begin van late middeleeuwen nog bewoning was aan de Bentel. Nadien lijkt het terrein verlaten te zijn en werden de gronden gebruikt als akker- of weideland (Scheltjens e.a. 2014).

Metallurgische resten

De opgraving leverde, volgens het opgravingsverslag, 16 ijzerslakken met een totaalgewicht van 739 g op. Er waren zeven smeltslakken en twee smeedslakken aanwezig. Er waren ook zes verslakte fragmenten van een ovenwand en een fragment van een *tuyère* ingezameld. De meerderheid van het materiaal is afkomstig uit de omgeving van hoofdgebouw 4. In het depot bleken echter slechts vijf fragmenten slakmateriaal bewaard te zijn (85,5 g). Deze werden geïdentificeerd als mogelijke vloeislakken.

5.2.1.14 Turnhout-Tijl en Nelestraat (2008/281, 2009/002 en 2009/220)

Van 2008 tot 2009 voerde de Archeologische dienst Antwerpse Kempen een opgraving uit ten noordoosten van het centrum van Turnhout, tussen de Tijl en Nelestraat en de Varenstraat. Ook deze opgraving situeerde zich ter hoogte van de Bentel op ca. 650 m ten noordwesten van het opgravingsareaal uit 2010. Er werd een grote Romeinse nederzetting onderzocht, alsook enkele sporen die wijzen op permanente menselijke aanwezigheid vanaf de late bronstijd. De nederzetting lijkt rond 270 n.C. verlaten te zijn. Enkele perceelsgreppels uit de late middeleeuwen en het ontbreken van andere nederzettingssporen doen vermoeden dat het terrein na de 3de eeuw hoofdzakelijk in gebruik was voor landbouw.

De oudste tekenen van menselijke aanwezigheid gaan terug tot het mesolithicum. Enkele artefacten werden als opspit ingezameld in Romeinse sporen. Mogelijk werd bij de aanleg van een van de potstallen een mesolithische concentratie van lithisch materiaal vergraven. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat de artefacten via het afplaggen van heide in de potstal zijn terechtgekomen. In elk geval wijzen deze vondsten op de aanwezigheid van mesolithische bewoning op of in de nabije omgeving van het projectgebied.

In de zuidoostelijke hoek van de opgraving werden twee kringgreppels ontdekt. Er werden echter geen bijzettingen aangetroffen. Op typologische basis blijken de monumenten eerder in de vroege ijzertijd te dateren dan in de late bronstijd. In het noordoosten van het onderzoeksgebied werd een concentratie aardewerk aangetroffen in een kuil (of boomval?) dat het spoor dateerde in de late bronstijd of de vroege ijzertijd. In dezelfde zone werden ook vier afval- of opslagkuilen uit de midden-ijzertijd blootgelegd. Een palencluster uit de ijzertijd versterkt het idee dat er een nederzetting moet zijn geweest in deze periode. Er konden echter geen structuren ontdekt worden.

De site was hoofdzakelijk in de Romeinse tijd bewoond. Er konden tweeëntwintig hoofdgebouwen, acht bijgebouwen en drie spiekers worden afgelijnd. Vier hoofdgebouwen waren voorzien van een verdiept stalgedeelte. Bij de gebouwen bevonden zich zes waterputten en één waterkuil, een groot aantal kuilen en drie greppels. De structuren vertonen een evolutie van gebouwen in de ijzertijdtraditie met een rij middenstaanders en een schilddak naar constructies met een zadeldak, waarbij de binnenruimte werd opengewerkt. De erven aan de Tijl en Nelestraat kunnen opgedeeld worden in zes fasen, van 50 tot 270 n.C. Alle erven waren sterk plaatsgebonden en hadden een noordoost-zuidwest oriëntatie. De eerste fase liep van 50 tot 100 n.C. Vijf hoofdgebouwen kunnen aan deze periode worden toegewezen, al is het niet duidelijk welke gelijktijdig voorkwamen of tot welk erf ze behoorden. Het gaat om gebouwen met vier middenstaanders, die kleiner en minder diep gefundeerd zijn. Dit sluit aan bij de ijzertijdtraditie. De tweede fase (100-150 n.C.) bestaat uit vier gebouwen met twee of drie zware middenstaanders. Enkel structuur 5 vormt, met vijf middenstaanders, een uitzondering. Mogelijk is deze plattegrond iets jonger en is er reeds een evolutie naar de potstal-boerderijen te zien. Vanaf de derde fase (150-180 n.C.) werden de gebouwen opmerkelijk langer en breder. In deze periode verscheen de eerste potstal en werd één van de middenstaanders voor het eerst ontdubbeld. De plattegronden uit fase 4 en 5 (180-210 n.C. en 210-240 n.C.) zijn moeilijk van elkaar te onderscheiden. De trend om middenstaanders te ontdubbelen zette zich echter wel verder. Ook een drietal waterputten behoorde tot deze fasen. Twee hoofdgebouwen werden in de zesde en laatste fase geplaatst (240-270 n.C.). Opmerkelijk is dat beide gebouwen sporen van brand vertoonden. De

binnenruimte was volledig opengewerkt en de dakconstructie steunde op de wandpalen. Ook een waterput behoorde tot deze laatste bewoningsfase.

Nat het verlaten van de Romeinse nederzetting blijkt het terrein lange tijd onbewoond te zijn. Vanaf de late middeleeuwen werden de gronden opnieuw in gebruik genomen, maar deze keer enkel als landbouwgebied. Enkele greppels vertoonden duidelijke overeenkomsten met de perceelsindeling van de 19de-eeuwse kaarten (*De smaele e.a. 2012*).

Metallurgische resten

Het metallurgisch ensemble bestaat uit 10 metaalslakken (3,190 kg), een mogelijke brandstofasse-slak (7 g) en een stuk verglaasde materie (12,5 g). De slakken zijn afkomstig uit verschillende sporen. Er is geen sprake van een duidelijke afvalcontext. Andere sporen die wijzen op metaalproductie, bijvoorbeeld een haard of oven, ontbreken.

5.2.1.15 Vosselaar-Roggestraat (2018J227)[19]

In 2018-2019 is aan de Roggestraat in Vosselaar een opgraving uitgevoerd in het kader van een nieuwe verkaveling. Op het terrein zijn verschillende sporen uit de vroege middeleeuwen gevonden, en enkele sporen uit de nieuwe tijd. De meest in het oog springende structuur is een palissade met een lengte van 66 m; deze ligt in het centrale en zuidelijke deel van het opgravingsgebied. Hij loopt nog verder door in de aangrenzende percelen.[20] Op basis van het verloop van de palissade kan vermoed worden dat deze ellipsvormig is. Over het algemeen bestaat de rij palen uit enkele palen met tussenafstanden van 1,2 m tot 2,5 m. Aan de westkant ontdubbelt de palenrij zich tot een dubbele palenrij, waarbij de palen telkens zeer dicht tegen elkaar zijn geplaatst. Er is aan deze zijde bovendien sprake van een zone waar de palen een veel grotere tussenafstand hebben; hier wordt een poort vermoed. De palissade omvat een terrein waar drie vierpalige spiekers, een klein bijgebouw en een grote kuil gelegen zijn. De scherven uit de paalsporen van de palissade en de gebouwtjes zijn schaars, maar wijzen op een datering in de Karolingische periode.

In het noordelijke deel van het terrein zijn talrijke grote kuilen gevonden. Deze kuilen zijn diep en breed en zijn allemaal op een gelijkaardige manier opgevuld. In de vullingen bevindt zich op een dieper niveau houtskool (in beperkte mate); in de hoogste kuilvullingen komen talrijke (grote tot zeer grote) ijzerslakken voor. Deze ijzerslakken zijn ook gevonden tijdens het aanleggen van het vlak in de onderste bodemlaag, net boven het archeologische vlak. De hoeveelheid slakken is opmerkelijk, maar er zijn geen sporen gevonden van ijzerproductie: geen oven(resten), geen verbrande zones… Omdat deze kuilen geen scherven hebben opgeleverd, is de datering gebeurd op basis van ^{14}C-dateringen van houtskool in de vulling. Deze leveren een globale datering op in de 5de-7de/8ste eeuw (Heirbaut in voorbereiding).

[19] Met dank aan E.N.A. Heirbaut van LAReS voor het bezorgen van de informatie.
[20] De aangrenzende percelen werden opgegraven ten tijde van afronding van het synthseonderzoek.

Metallurgische resten

In totaal werden 862 vondsten (68,065 kg) ingezameld, die te linken zijn aan metallurgische activiteit. Het merendeel van hiervan is afkomstig uit enkele kuilen, die op basis van ^{14}C-analyse dateren uit de vroege middeleeuwen. Het materiaal van S527 en S614 werd verder gedetermineerd in het kader van het syntheseonderzoek. Het gaat om 260 ijzerslakken (30,955 kg), 2 mogelijke ijzerslakken (96 g), 56 stukken (2,157 kg) metallurgisch afval (o.a. brandstofasseslak) en technisch aardewerk (115 stuks; 3,281 kg).

5.2.2 Contextuele informatie (*intra-site verspreiding*)

De slakken lijken voornamelijk afkomstig te zijn van landelijke nederzettingen. Op zich hoeft dit niet te verwonderen, aangezien dergelijke sites verhoudingsgewijs ook het vaakst voorkomen. Er werd getracht te achterhalen in welk type spoor de slakken het meest gevonden worden.[21] Dit bleek evenwel niet eenvoudig, aangezien deze gegevens niet altijd gekend zijn. Een deel van het materiaal werd ook als losse vondst ingezameld. Om de gegevens toch enigszins met elkaar te vergelijken werd er berekend hoeveel slakken er gemiddeld genomen per spoortype worden gevonden. Hierbij werden ook de gemiddelde gewichten berekend. Het is namelijk opvallend dat bijvoorbeeld in grachten/greppels wel regelmatig slakken worden gevonden, maar dat het vaak om kleinere fragmenten gaat. Mogelijk belandden de slakken eerder accidenteel in dergelijke contexten. Om vervolgens de gemiddelde aantallen en gewichten op dezelfde grafiek te kunnen uitzetten werd van elke categorie een totaalgemiddelde berekend. De gemiddelden per spoor werden dan procentueel berekend ten opzichte van het totaalgemiddelde van elke categorie. Dit leverde volgende grafiek op:

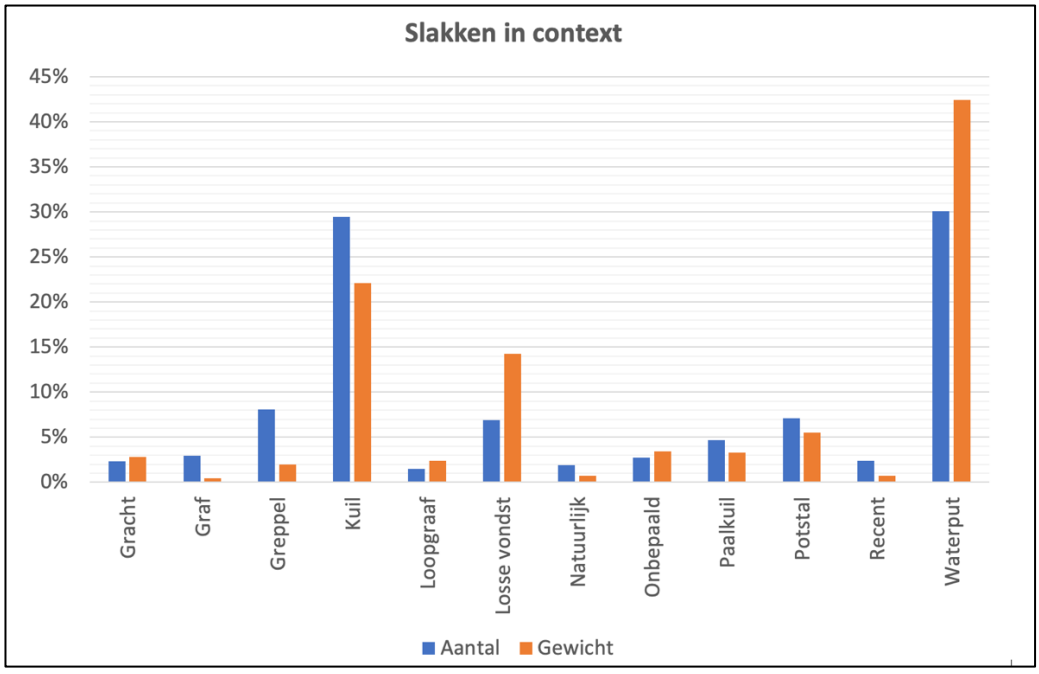


Fig. 5.21: Verhouding aantal slakken en gewicht van de slakken per spoortype.

[21] Enkel de ijzerslakken werden geteld. Andere vondsten zoals ijzeroer en metallurgisch afval werden buiten beschouwing gelaten.

Wat meteen opvalt is het hoge aantal slakken dat werd gevonden in kuilen en waterputten. De waterputten leverden vooral grotere exemplaren op. De cijfers bleken evenwel vrij misleidend. De waterputten in Borsbeek – Krijgsbaan en Nijlen – Mussenpad bevatten namelijk erg veel slakken, wat de cijfers sterk beïnvloedt. Hetzelfde is van toepassing op de kuilen, met duidelijke uitschieters in Grobbendonk – Begraafplaats, Herentals – Roggestraat en Vosselaar – Roggestraat. In elk geval kan ervan uitgegaan worden dat de grotere ensembles bewust in de sporen werden gedeponeerd, mogelijk bij het opruimen of verlaten van de site. Sommige slakken zijn duidelijk eerder bij toeval in de sporen beland, zoals in de vroegmiddeleeuwse graven en de loopgraven te Herentals – Roggestraat. Bij de *case studies* werd getracht om de locatie van de gevonden slakken aan te duiden op de opgravingsplannen. Mogelijk zouden zo patronen op de site duidelijk worden. Dit bleek evenwel een lastige opgave, omdat oudere overzichtsplannen vaak geen individuele spoornummers bevatten of dat de locatie van de slakken niet duidelijk was. Wanneer het wel lukte om de slakken uit te zetten, bevestigde dit het idee uit de grafiek. Duidelijke concentraties waren te vinden in grote sporen zoals kuilen en waterputten en de overige slakken kwamen verspreid over de site voor. Het was niet mogelijk om afzonderlijke ambachtelijke zones af te bakenen.

Site	Datering	Aantal	Gewicht
Borsbeek – Krijgsbaan	IJzertijd	108	25 879 g
Brecht – AZ Ringlaan	IJzertijd – middeleeuwen	4	1278 g
Geel – Kanunnikenblok	IJzertijd – middeleeuwen	1	133 g
Grobbendonk – Begraafplaats	Romeinse tijd	2	2000 g
Grobbendonk – Uitbreiding begraafplaats	Romeinse tijd	1	183 g
Herentals – Roggestraat	Vroege – volle middeleeuwen	21	4193 g
Lier – Duwijck II	IJzertijd – Romeinse tijd	61	8069 g
Nijlen – Mussenpad	Vroege – volle middeleeuwen	477	46 389 g
Turnhout – Tijl en Nelestraat	Romeinse tijd	1	1222 g

Tabel 5.1: Overzicht van de ijzerslakken die in waterputten werden gevonden.

Site	Datering	Aantal	Gewicht
Beerse – Oostmalseweg	Romeinse tijd	2	63,5 g
Brecht – AZ Ringlaan	IJzertijd – middeleeuwen	1	75 g
Grobbendonk – Begraafplaats	Romeinse tijd	120	19 504 g
Herentals – Roggestraat	Vroege – volle middeleeuwen	493	21 092 g
Kontich – Alfsberg	IJzertijd – Romeinse tijd	9	623 g
Lier – Duwijck II	IJzertijd – Romeinse tijd	2	158 g
Nijlen – Mussenpad	Vroege – volle middeleeuwen	22	311 g
Vosselaar – Roggestraat	Vroege – volle middeleeuwen	552	42 798 g

Tabel 5.2: Overzicht van de ijzerslakken die in kuilen werden gevonden.

5.2.3 Kwantificatie (gewicht) en datering (*inter-site verspreiding*)

In deze paragraaf worden alle sites bekeken waar ijzerslakken werden aangetroffen.[22] De selectie gebeurde op basis van gepubliceerde rapporten van veldwerk dat binnen het projectgebied werd uitgevoerd. De hoeveelheid ijzerslakken (uitgedrukt in gewicht) werd per site bekeken, in combinatie met de datering van de contexten waaruit de slakken afkomstig zijn. Vervolgens werden deze gegevens geprojecteerd op de quartairgeologische kaart, die min of meer de (paleo)landschappelijke gesteldheid representeert. Fig. 5.22 geeft het gewicht ijzerslakken weer per site, opgedeeld in 10 categorieën. De eerste categorie omvat de sites waarvan het gewicht niet is gekend. Tijdens de verschillende depotbezoeken werd al snel duidelijk dat er vaak vondstmateriaal werd geïnterpreteerd als een ijzerslak, maar dat het in werkelijkheid om andere vondstcategorieën ging zoals o.a. ijzeroer of technisch aardewerk. De sites waarvan het materiaal werd gecontroleerd, werden ingedeeld per gewicht van het slakmateriaal. De andere sites werden ondergebracht onder de laag 'niet gekend'. Indien de gewichten uit de rapportages worden gebruikt, kan dit namelijk een vertekend beeld geven aangezien de betrouwbaarheid van deze gegevens niet gecontroleerd kan worden. Onderstaande afbeelding toont dat de sites met de grootste aantallen voornamelijk centraal op het projectgebied voorkomen, met een kleinere concentratie iets meer naar het noorden toe ter hoogte van Vosselaar. Hierbij moet wel rekening gehouden worden dat dit ook beïnvloed kan worden door regio's waar tot op heden meer of juist minder archeologisch onderzoek is uitgevoerd.

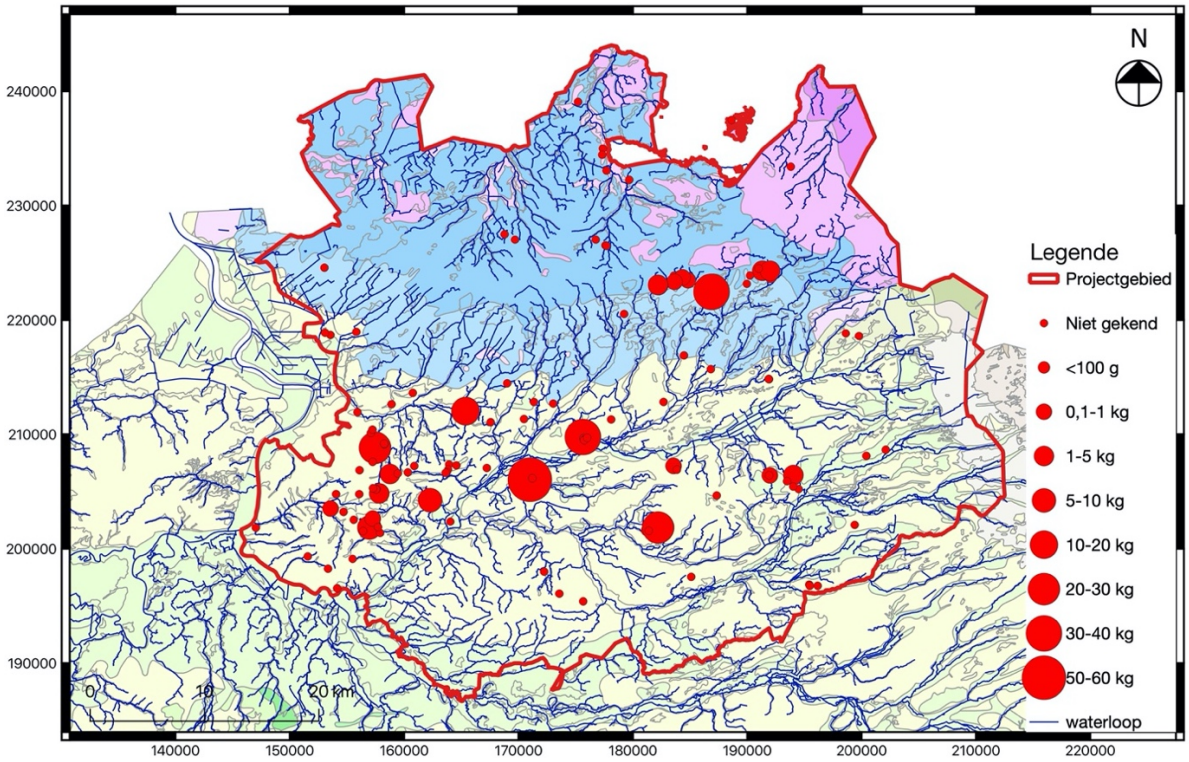


Fig. 5.22: Opdeling van de sites waar ijzerslakken werden aangetroffen per gewicht.

[22] In het Onroerend Erfgoed depot werd het slakmateriaal van twee bijkomende projecten bekeken ('Kontich-Felix Lauwers' en 'Kontich-Pipeline'). Er kon echter niet achterhaald worden waar deze opgravingen gesitueerd waren, waardoor deze projecten niet werden opgenomen op het kaartmateriaal.

Fig. 5.23 geeft een overzicht van de verschillende sites opgedeeld per periode. Deze data zijn afkomstig uit de opgravingsverslagen en nota's. Bij de indeling in verschillende periodes werd gebruik gemaakt van zes verschillende categorieën, o.a. de ijzertijd, Romeinse periode en vroege middeleeuwen, aangezien dit de periodes zijn waarop het syntheseonderzoek betrekking heeft. Bijkomend werd een categorie voorzien voor alle periodes vanaf de volle middeleeuwen en een categorie voor middeleeuwse sites, aangezien niet altijd een onderscheid gemaakt kon worden tussen de vroege middeleeuwen en de volle/late middeleeuwen. Als laatste werd een laag voorzien voor sites waarvan de datering niet is gekend. Hieronder vallen o.a. alle meerperiodensites waarvan niet achterhaald kon worden uit welke periode de contexten met ijzerslakken precies dateren. Bijkomend werd bij enkele meerperiodensites gekeken uit welke periode het merendeel van de slakken afkomstig is, zodat deze datering gebruikt kon worden. In één geval (Geel-Eikenvelden) ging het echter om een grotere hoeveelheid ijzerslakken waarvan een deel in de volle/late middeleeuwen gedateerd kan worden, maar ook een deel een zeer ruime datering kreeg vanaf de late ijzertijd/Romeinse periode. Aangezien het hier om een grotere hoeveelheid slakmateriaal ging, maar waarvan geen aantallen per periode zijn gekend, werd voor deze site twee lagen (namelijk 'onbepaald' en 'vanaf volle middeleeuwen') aangeduid. In de gevallen waar het echter maar om enkele slakken per periode en/of site ging, werden deze sites onder de laag onbepaald gezet, om zo een vertekend beeld door overrepresentatie van bepaalde periodes te voorkomen. Fig. 5.23 geeft de spreiding van de periodisering van de ijzerslakken weer. Er kan echter geen duidelijke ruimtelijke indeling per periode herkend worden.

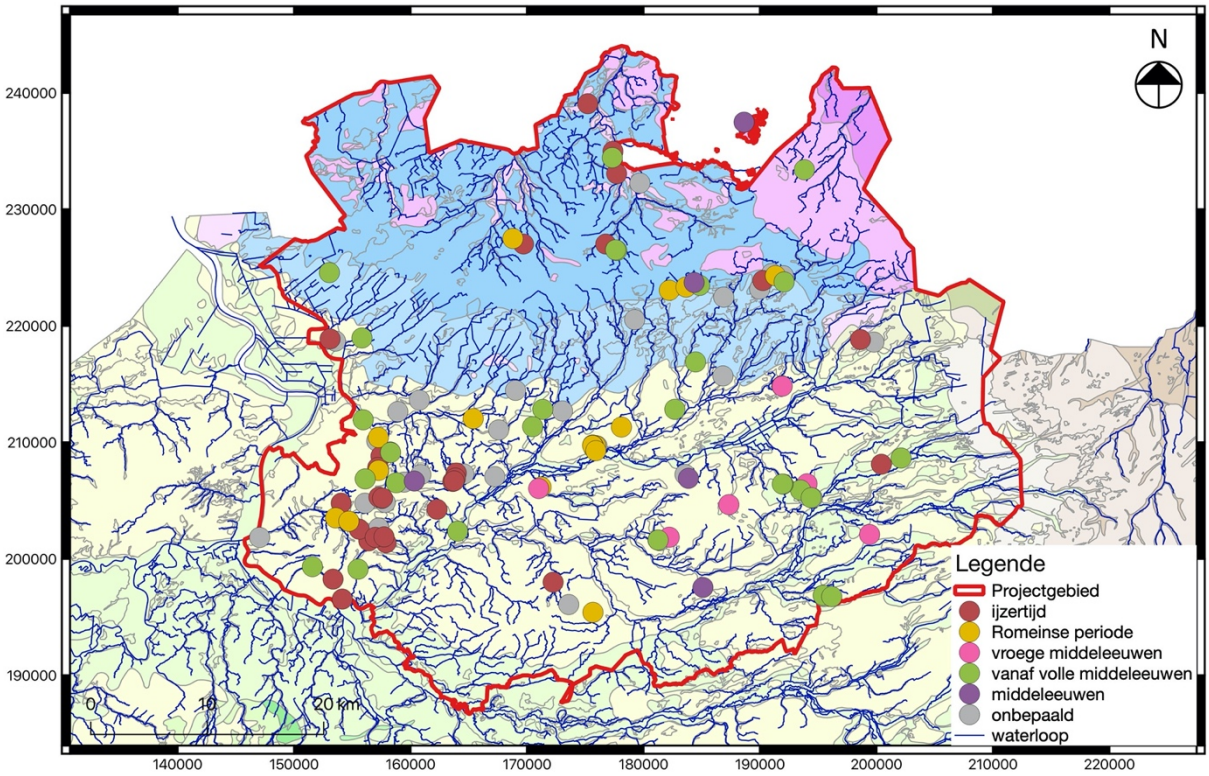


Fig. 5.23: Opdeling van de sites waar ijzerslakken werden aangetroffen per periode.

Vervolgens werd een derde kaart gemaakt, waarop de gegevens van de periodisering en het gewicht per site werden gecombineerd. Zo geeft de kleur weer om welke periode het gaat en de grootte representeert het gewicht van de ijzerslakken per site (waarbij de kleinste bolletjes de categorie 'onbepaald' is). Wanneer deze gegevens worden geprojecteerd op het DHM II (Fig. 5.25) is te zien dat de sites met het grootste gewicht zich situeren op de overgangszones van de lagergelegen riviervalleien naar de hoger gelegen zones. De sites bevinden zich dus niet in de riviervalleien zelf, maar op de iets hoger en dus ook drogere gebieden maar wel nog steeds vlakbij water. Het is echter zeer moeilijk om conclusies te trekken op basis van deze kaarten, aangezien het gewicht en de datering van een groot aantal sites niet is gekend.

Over het algemeen moet bij de interpretaties van deze kaarten opgelet worden, aangezien een groot deel van de gegevens ontbreekt. Slechts een klein deel van de gewichten van het slakmateriaal kon gecontroleerd worden, waardoor de spreidingskaarten gebaseerd zijn op een relatief klein aantal sites.

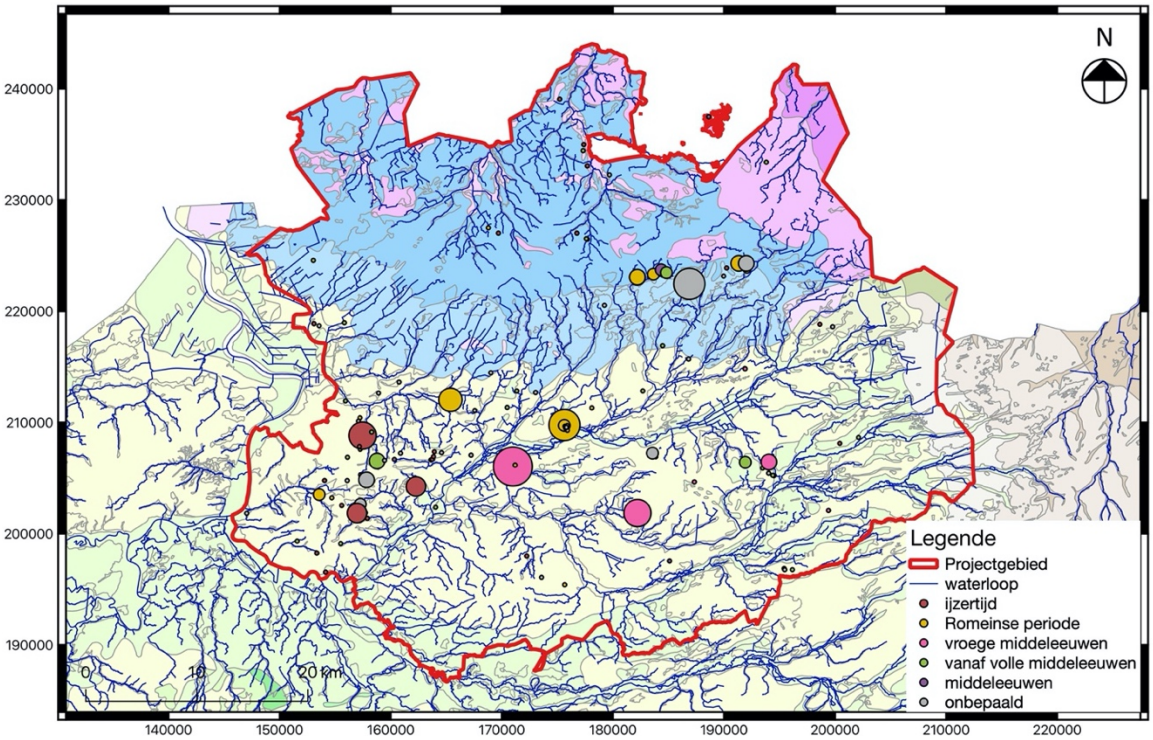


Fig. 5.24: Opdeling van de sites waar ijzerslakken werden aangetroffen per gewicht en periode.

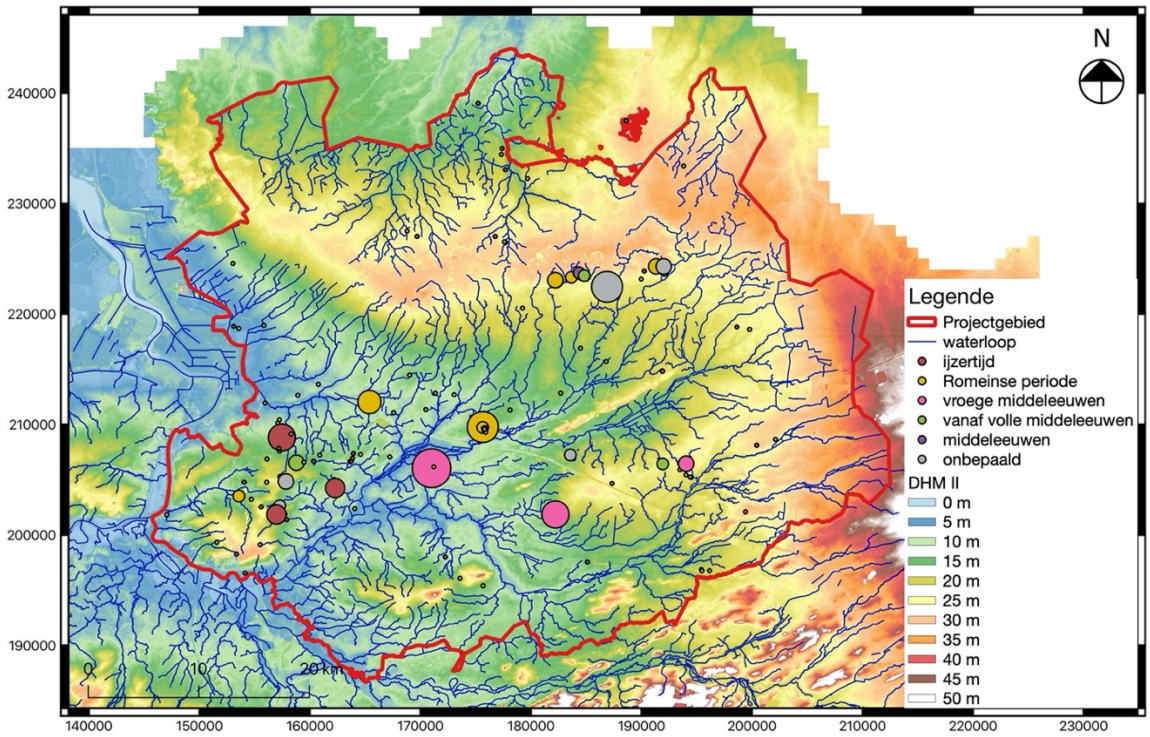


Fig. 5.25: Opdeling van de sites waar ijzerslakken werden aangetroffen per gewicht en periode geprojecteerd op het DHM II.

5.3 Selectie van sites met (een potentieel) hoge dataresolutie (*case studies*)

Tijdens de verschillende depotbezoeken werden de ensembles van 23 sites bestudeerd op macroniveau. Al gauw bleek dat slechts een beperkt aantal sites in aanmerking kwam voor verdere analyse. Bij de selectie van deze sites waren twee factoren van doorslaggevend belang. Ten eerste moest het metallurgisch ensemble, en dan vooral het aantal ijzerslakken, voldoende groot zijn om representatief te zijn. Ten tweede was het erg belangrijk dat de slakken uit goed dateerbare contexten afkomstig waren. Een groot deel van de sites voldeed al niet aan het eerste criterium. Sommige, zoals Beerse-Krommenhof of Kontich-Kazerne, leverden nog geen volledige kilogram materiaal op. Op andere sites was er wel een voldoende studiemateriaal aanwezig, maar waren er (nog) geen nauwkeurige dateringen bekend ten tijde van analysefase II. Een voorbeeld hiervan is Vosselaar-Roggestraat.

Uiteindelijk bleken er voor de ijzertijd slechts twee sites in aanmerking te komen. Zowel in Borsbeek-Krijgsbaan als in Lier-Duwijck II werden twee waterputten opgegraven, waarin een behoorlijke hoeveelheid ijzerslakken werd aangetroffen. De waterput in Borsbeek bevatte 108 ijzerslakken (25,9 kg) en de put in Lier 61 (8,1 kg). De slakken zijn bij beide sporen afkomstig uit de laatste gebruiksfase in de late ijzertijd. Vermoedelijk werden de waterputten na opgave opgevuld met afval afkomstig van op of rond de site. Vermits het om twee zeer gelijkaardige contexten ging, werd beslist om slechts één site in detail uit te werken. De slakken van Lier-Duwijck II werden bij de uitwerking van de opgraving reeds bestudeerd door prof. dr. P. Degryse van de KU Leuven. De waterput in Lier kon bovendien ook niet volledig onderzocht worden, aangezien deze zich op de rand van het projectgebied bevond (Cryns

2014, 168 en 179.). Daarom werd er geopteerd om in het huidige onderzoek enkel de slakken van Borsbeek-Krijgsbaan verder te analyseren.

Veel sites waren doorlopend bewoond in de ijzertijd en de Romeinse periode. Dit maakt het vaak moeilijk om uit te maken uit welke periode het slakmateriaal zelf dateert. Voor twee sites stelde dit probleem zich niet: Grobbendonk-Vorselaarsebaan (begraafplaats) en Oelegem-Steenbergen. Bovendien werden op beide sites voldoende ijzerslakken ingezameld. Interessant hierbij is ook het feit dat het om twee totaal verschillende sites gaat. Ter hoogte van Oelegem-Steenbergen werd een inheems-Romeinse site uit de tweede helft van de 1ste eeuw tot het begin van de 3de eeuw onderzocht. De sporen aan de Vorselaarsebaan in Grobbendonk behoorden dan weer tot een ambachtelijke zone aan de rand van de *vicus* van Grobbendonk. De locatie werd vermoedelijk in de eerste helft van de 3de eeuw verlaten.

De occupatie tijdens de overgang van de Romeinse periode naar de vroege middeleeuwen is erg slecht gekend in de Antwerpse Kempen. Sites uit de vroege middeleeuwen zijn weinig talrijk en vaak loopt de bewoning door tot en met de volle middeleeuwen, waardoor de vroegere sporen moeilijk te onderscheiden zijn. Tijdens het literatuuronderzoek konden slechts drie sites met een duidelijke vroegmiddeleeuwse bewoningsfase ontdekt worden: Herentals-Roggestraat, Hove-Cueteghem en Nijlen-Mussenpad.[23] Voor Hove-Cuethegem waren er echter slechts zeven ijzerslakken beschikbaar, waarvan de exacte vondstlocaties niet gekend waren. Enkel Herentals en Nijlen kwamen dus in aanmerking voor verdere analyse. In Herentals kwamen duidelijke nederzettingsresten aan het licht, bestaande uit hoofd- en bijgebouwen en een grafveld. De site aan Nijlen-Mussenpad was moeilijker te interpreteren. Duidelijke gebouwplattegronden ontbraken, maar twee waterputten dateerden wel met zekerheid uit de vroege middeleeuwen. De slakken van Nijlen werden eerder onderzocht in het kader van verder paleo-ecologische onderzoek van de waterputten (Bourgeois e.a. 2015). Tijdens het depotbezoek bleek evenwel al snel dat er ‚op basis van de macroscopische waarnemingen, veel meer vloeislakken in het ensemble aanwezig waren. In het kader van het eerder paleo-ecologisch onderzoek heeft men slechts een beperkt aantal stalen microscopisch en chemisch laten analyseren. Er werd daarom beslist om het ensemble opnieuw te onderzoeken.

[23] Het gaat hier uiteraard om sites met slakmateriaal. Ondertussen is gebleken dat er in Vosselaar-Roggestraat ook duidelijke vroegmiddeleeuwse sporen aanwezig waren.

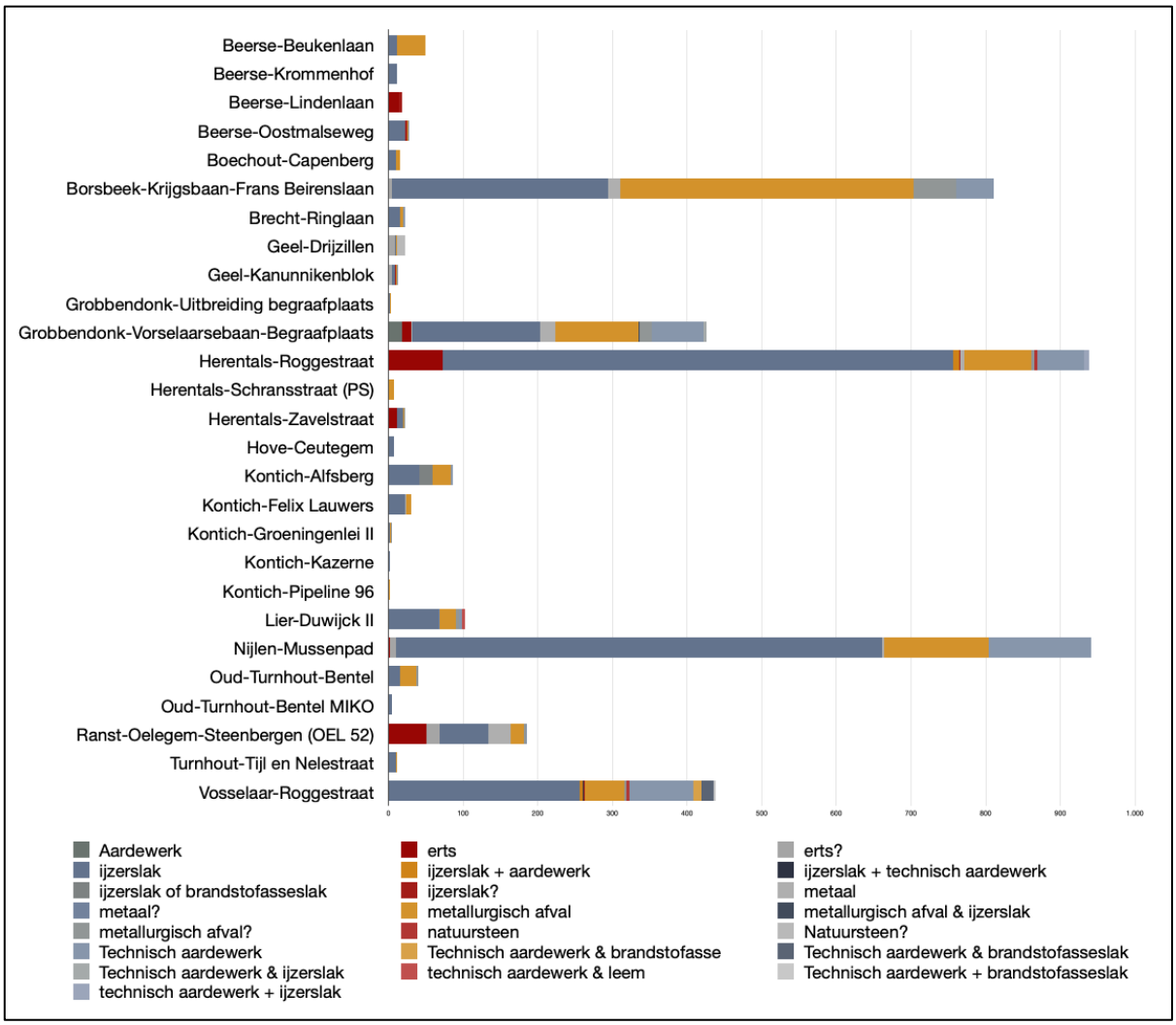


Fig. 5.26: Schematisch overzicht van het metallurgisch ensemble per site.

6. Case studies per archeologische periode: analysefase II

Lente Van Brempt, Hanne De Langhe, Julie Van Roy & Wouter Yperman

6.1 IJzertijd

6.1.1 Site Borsbeek-*Krijgsbaan*

6.1.1.1 Overzicht van bodemsporen en structuren

DE SMAELE B. & H. PIETERS 2016: Archeologisch vlakdekkend onderzoek langs de Krijgsbaan te Deurne/Borsbeek, rapportage van de onderzoeksresultaten van fase 1 van het vlakdekkend onderzoek, ADEDE Archeologisch Rapport 55, Gent.

Naar aanleiding van de ondertunneling van de R11 ter hoogte van de luchthaven van Antwerpen (Deurne) werden in augustus 2013 proefsleuven aangelegd op een terrein van ca. 17,3 ha (De Kreyger e.a. 2013). Na positieve resultaten mondde dit uit in een vlakdekkende opgraving in een zone van ca. 5800 m² (De Smaele & Pieters 2016).

De opgraving werd uitgevoerd door ADEDE in maart 2014 en leverde verschillende sporen en structuren op. Deze behoren tot twee bewoningsfasen. Tijdens de oudste fase was er een erf aanwezig, bestaande uit een hoofdgebouw, verschillende bijgebouwen en enkele afvalkuilen. Op basis van het vondstmateriaal en twee bijkomende ^{14}C-dateringen werd een datering in de midden ijzertijd vooropgesteld (ca. 5de tot 4de eeuw v.C.). Het vondstmateriaal op dit erf omvat onder meer geknikt aardewerk dat kenmerkend is voor deze periode. De tweede fase gaat terug tot de late ijzertijd. Het vondstmateriaal, en in het bijzonder het glas, laat toe deze datering te vernauwen tot het midden van de 2de tot het midden van de 1ste eeuw v.C. Ook voor deze fase werden een hoofdgebouw en verschillende bijgebouwen onderzocht (Fig. 6.1). Spoor 374 viel meteen op door de grote hoeveelheid vondstmateriaal in de vulling. Daarom werd door de archeologen van ADEDE een specifieke onderzoeksmethodiek opgesteld. Men besliste de context op te delen in een gelijkmatig raster en de vondsten binnen de afzonderlijke vakken per laag in te zamelen. Na het onderzoeken van drie van de vijftien vooropgestelde vakken werd de hoeveelheid vondstmateriaal echter als uitzonderlijk hoog ingeschat voor regulier onderzoek. De context werd afgedekt en vervolgens begon een overleg met de betrokken partijen over de meest geschikte onderzoeksmethode. Ondertussen verliep de opgravingsvergunning en werd het verder onderzoek uitgesteld. ADEDE maakte een rapport op, waarin de resultaten van de afgewerkte sporen werden opgenomen. In het najaar van 2018 werd uiteindelijk een nieuwe openbare procedure opgesteld door het Agentschap Wegen en Verkeer Antwerpen. Vervolgens zette een team van Monument Vandekerckhove het onderzoek op waterkuil S374 verder, in juni en november 2019.

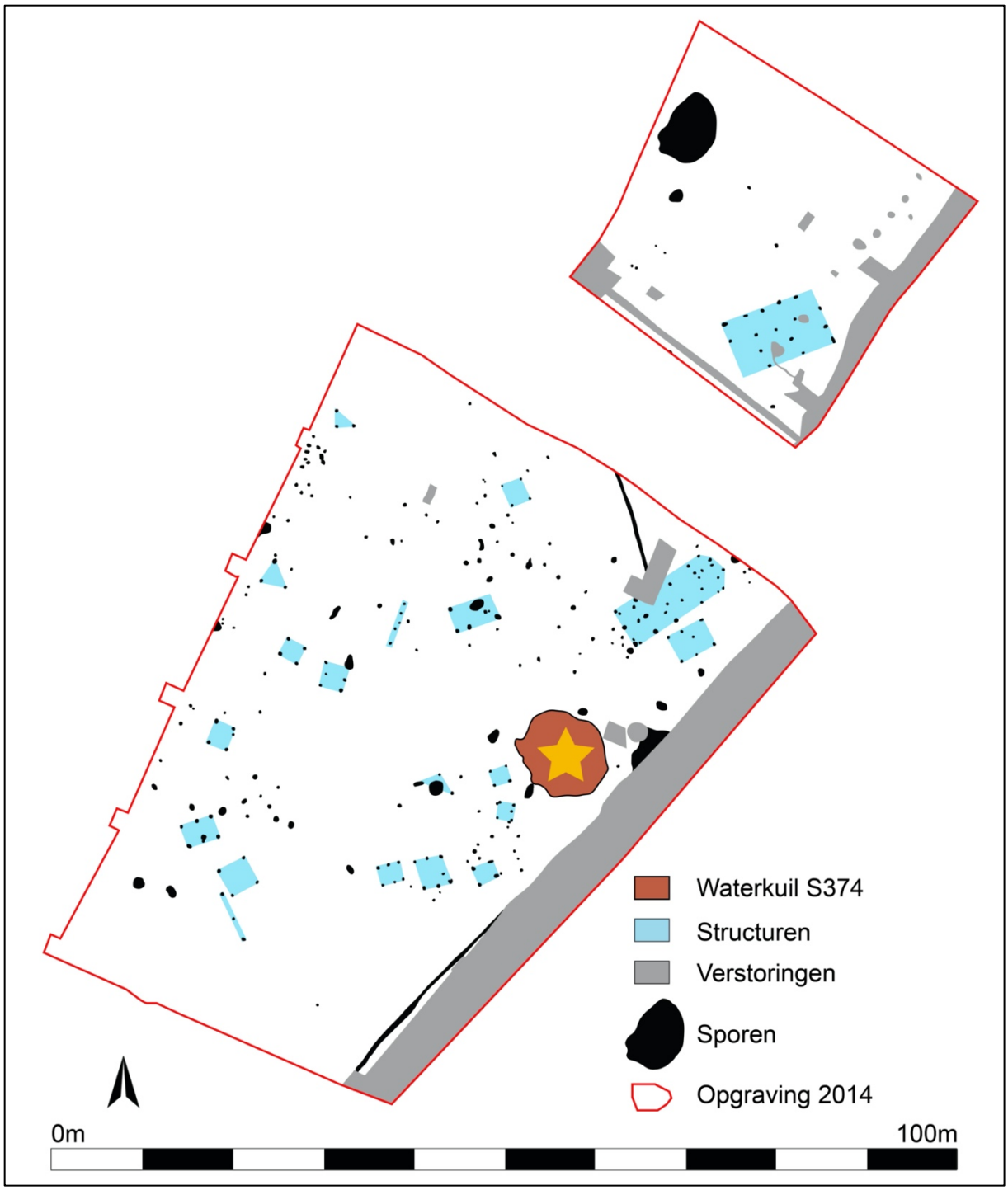


Fig. 6.1: Overzichtsplan van het opgravingsareaal van de site Borsbeek-Krijgsbaan met aanduiding van de waterkuil S374.

Na het opnieuw vrijleggen van spoor 374, tekende dit zich op het archeologische vlak af als een onregelmatig ovaal met afmetingen van 9,7 m op 8,5 m (Fig. 6.2). Het spoor werd in eerste instantie in verschillende vakken opgedeeld. Het sediment werd in geschrankte vakken verzameld in *big bags* en later uitgezeefd (maaswijdte 1 mm). Zo konden gegevens over de verspreiding van het vondstmateriaal worden verkregen en was het mogelijk meerdere profielen van het spoor te registreren.

In de waterkuil werd een erg grote hoeveelheid vondstmateriaal gevonden, dat tot verschillende categorieën behoorde: aardewerk, huttenleem, bot, metaal, metaalslakken, glas, amber, natuursteen en hout. Op basis van het gewicht was aardewerk het best vertegenwoordigd (51% van de vondsten), gevolgd door bot (30%) en metaalslakken (17%). Natuursteen nam 2% van het vondstensemble in. Het aandeel van de overige categorieën bedroeg minder dan 1% (Mestdagh & Bartholomieux 2022; Mestdagh e.a. 2023).



Fig. 6.2: Weergave van waterkuil S374 in het vrijgelegde vlak in 2019, met op voorgrond de uitgegraven vakken uit 2014 (Mestdagh & Bartholomieux 2022, Figuur 15).



Fig. 6.3: Weergave van de coupe op waterkuil S374 tijdens de opgraving van 2019 (Mestdagh & Bartholomieux 2022, Figuur 24).

6.1.1.2. Bodemkundige situering van de site

De vindplaats situeert zich ter hoogte van Pcm-gronden. Deze bodemserie omvat matig droge lichte zandleemgronden met een dikke (≥ 60 cm) antropogene humus A-horizont. De ..m-profielontwikkeling sluit aan bij het algemeen beeld dat naar voren kwam uit de bespreking van het geologisch kader, evenals de aanwezigheid van een redelijk gunstige drainage (.c.-drainage). De site situeert zich nabij uiterst natte alluviale gronden, waarbij tijdens verschillende vooronderzoeken een nat bodemprofiel met roestvlekken en een ijzerhoudende tertiaire afzetting (Formatie van Diest) werd aangetroffen. In bepaalde profielen werden ook ijzerconcreties bemerkt, wat suggereert dat de vorming van ijzeroer in deze natte gronden mogelijk is.[24] De locatie van de site op een droog gedeelte naast uiterst natte, ijzerrijke alluviale sedimenten maakt dat er in theorie wel sprake kan zijn van ijzerreductie nabij een extractieplaats.

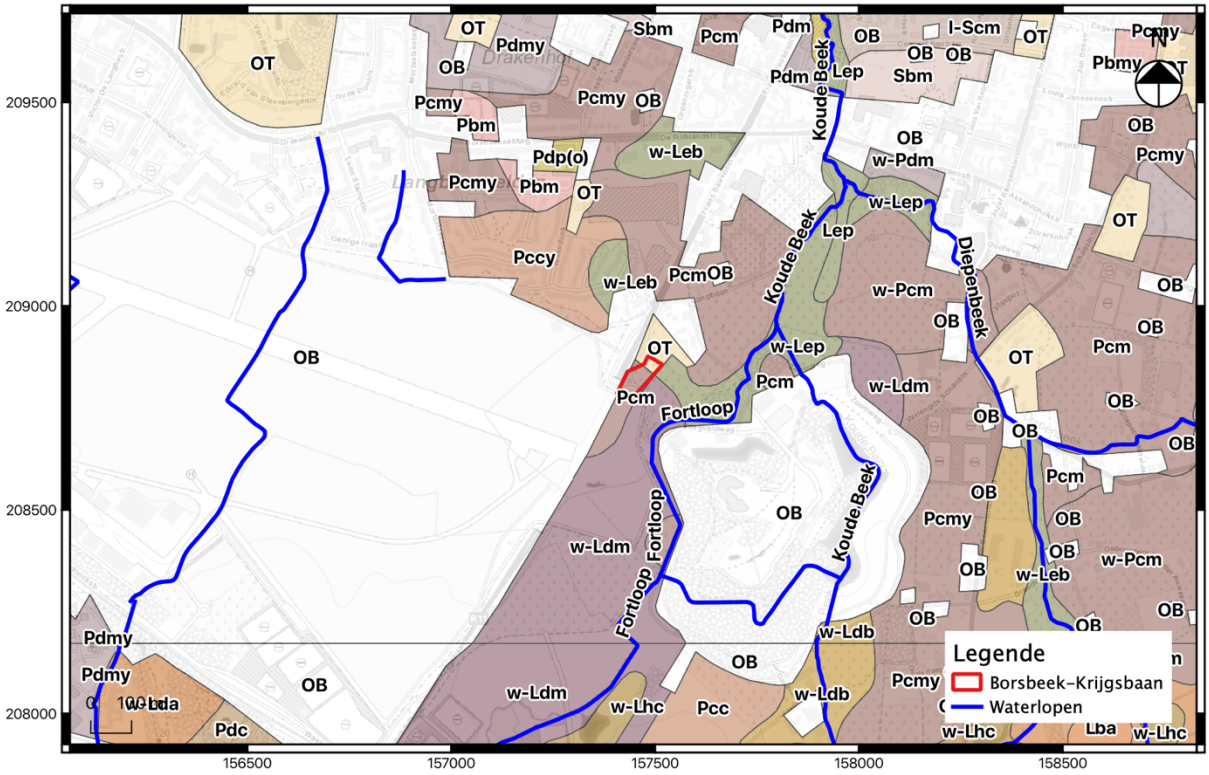


Fig. 6.4: Bodemkaart kaart met aanduiding van de waterlopen en het onderzoeksgebied.

[24] Zie bijvoorbeeld het onderzoek aan de Fortloop in Mortsel, uitgevoerd door Studiebureau Archeologie op 25-26 februari 2013 (Yperman & Smeets).



Fig. 6.5: Profiel 1 van het onderzoek aan de Fortloop met ijzerconcreties ter hoogte van horizont 6.

6.1.1.3. Metallurgisch ensemble

Alle metallurgische vondsten zijn afkomstig uit waterkuil S374, met een totaalgewicht van ca. 36 kg. Het ensemble bestaat grotendeels uit ijzerslakken (289 fragmenten, ca. 25,9 kg), maar ook fragmenten technisch aardewerk (51 fragmenten, ca. 802 g) en andere fragmenten of brokken materie (427 fragmenten, 7,8 kg) die door een hoge graad van verglazing of een roestige verkleuring aan metallurgische activiteiten gelinkt kunnen worden. Vijf brokken natuursteen werden foutief als ijzerslak gedetermineerd, waarschijnlijk door hun roestige verkleuring of korstlaag.

IJzerslakken

De metaalslakken zijn zonder twijfel afkomstig van ijzerproductie. Bij deze ijzerslakken kunnen we in eerste instantie een onderscheid maken tussen duidelijke smeedslakken, bestaande uit vrijwel volledige of gefragmenteerde smeedhaardbodems (128 fragmenten, ca. 18,5 kg), en onduidelijke of non-diagnostische fragmenten (151 fragmenten, ca. 6,8 kg). Met uitzondering van enkele twijfelgevallen lijken de ijzerslakken louter gelinkt te zijn aan smeedactiviteiten. Er zijn geen exemplaren die ontegensprekelijk geïnterpreteerd kunnen worden als resten van de voorafgaande fase in het productieproces, namelijk de reductie van het ijzererts in de oven.

Smeedhaardbodems

De smeedhaardbodems kunnen zeer uiteenlopen in omvang en morfologische eigenschappen, maar hebben doorgaans de kenmerkende plano-convexe vorm en bestaan uit een eerder compacte homogene materie. We zouden eventueel een onderscheid kunnen maken tussen:

1. dikke en zware smeedhaardbodems, al dan niet met meerdere smeedlagen en eventueel een laag verglaasde brandstofasse en/of aardewerkresten langs één zijde, en
2. dunne smeedhaardbodems met een plano- of concaaf-convexe vorm.

De meerderheid van de smeedslakken omvat echter onregelmatige fragmenten en andere vormen die niet volledig beantwoorden aan bovenstaande omschrijvingen.

Er kunnen een tiental zware en dikke smeedhaardbodems (V208, V313, V328, V250, V359, V351) onderscheiden worden. Deze smeedhaardbodems hebben een maximale diameter van 11,5 cm en een dikte van ca. 5 cm. Enkele van deze voorbeelden zijn bijna volledig, maar de meeste zijn sterk gefragmenteerd, waardoor het totale gewicht ervan moeilijk te bepalen is. Ze lijken doorgaans in hun totaliteit rond 600 g te wegen. De dikke smeedhaardbodems vertonen zelden een perfecte plano-convexe vorm. De bovenzijde is gewoonlijk vlak of golvend en de onderzijde convex met een knobbelige structuur. De randen zijn eerder onregelmatig en vertonen geregeld meerdere (smeed)lagen (V313, Fig. 6.6). Aan één zijde, geregeld wat afgevlakt, zijn er occasioneel een laag verglaasde brandstofasse en/of resten aardewerk gehecht (V208, Fig. 6.8). Deze dikke smeedhaardbodems zijn zeer waarschijnlijk het resultaat van één of meerdere smeedsessies, waarbij het slakkenmateriaal zich net onder de blaaspijp tegen de haardwand aan heeft verzameld. Door een sterke luchtstroom kan er zich een holte in het bovenste oppervlak vormen (V208, Fig. 6.8).

Het slakkenmateriaal lijkt doorgaans compact en homogeen, in combinatie met een licht glanzend donkergrijs-zwart oppervlak. Er zijn echter ook verschillende fragmenten van smeedhaardbodems die een minder compacte en eerder vesiculaire samenstelling vertonen. Corrosie speelt vaak parten in de samenstelling van de materie. Ook zijn er voorbeelden gekend met een lichtere kleur, wat kan wijzen op een verhoogd aandeel van silica en/of calcium (V250, Fig. 6.9). De doorsnede van een voorbeeld met twee smeedlagen (V313, Fig. 6.6) toont ons een compacte en redelijk homogene materie met lichtere kalkrijke zones en verhoogde porositeit tussen de afzonderlijke lagen. Ook bij een ander exemplaar (V328, Fig. 6.7) werd in de doorsnede een homogene en compacte materie waargenomen, maar met een toename van porositeit en corrosie in de onderste helft.

Het zwaarste en dikste voorbeeld van de smeedhaardbodem (V208, Fig. 6.8) weegt 895 g, heeft een diameter van 12 cm en dikte van 6 cm. Deze smeedhaardbodem heeft een eerder onregelmatige plano-convexe vorm, met langs één zijde een dikke laag van verglaasde brandstofasse en resten aardewerk. De overige zijden zijn eerder gefragmenteerd en vertonen minstens twee smeedlagen. Het slakkenmateriaal lijkt compact en homogeen, in combinatie met een licht glanzend donkergrijs-zwart oppervlak. De bovenzijde is vlak of licht golvend met een holte langs de zijde en resten aardewerk. De convexe onderzijde heeft een knobbelige textuur en is bedekt met een korstige laag sediment met verglaasde kalkrijke materie. Tussen de slakken zitten ook tientallen kleinere fragmenten die zeer waarschijnlijk afkomstig zijn van dikke smeedhaardbodems. Het is bijgevolg moeilijk om het totale aantal smeedhaardbodems te bepalen.



Fig. 6.6: Plano-convexe smeedhaardbodem V313: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).



Fig. 6.7: Plano-convexe smeedhaardbodem V328: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).



Fig. 6.8: Plano-convexe smeedhaardbodem V208: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en diagonaal aanzicht (rechts onder).



Fig. 6.9: Plano-convexe smeedhaardbodem V250: bovenzijde (links boven), onderzijde (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).

Naast deze grote dikke, eerder onregelmatige smeedhaardbodems zijn ook exemplaren met een relatief dunne plano- of concaaf-convexe vorm aanwezig (bijvoorbeeld V303, V322, V339). Ze worden doorgaans gekenmerkt door een kalkrijke korstlaag aan de onderzijde. Aan de bovenzijde zijn geregeld verglaasde kalkrijke zones waar te nemen. Het bovenste oppervlak varieert tussen vlak, golvend en licht globulair, de onderzijde heeft gewoonlijk een knobbelig oppervlak. De diameter van deze eenvoudige smeedhaardbodems is gelijkaardig aan de dikke exemplaren, i.e. ca. 11 cm, maar de dikte is doorgaans meer beperkt door het ontbreken van een additionele smeedlaag. De omtrek is doorgaans mooi rond met afgeronde randen, maar er bestaan ook voorbeelden met een eerder onregelmatige omtrek en scherpere randen. In tegenstelling tot de dikkere smeedhaardbodems resulteren deze dunne exemplaren van eenzelfde smeedproces. Ze vormden zich mogelijk niet tegen de haardwand aan, maar vrijwel op de bodem van de haard, wat in de kalkrijke korstlaag aan de onderzijde resulteerde. De kracht van de luchtstroom kan dan weer specifieke vervormingen, zoals een holte of opstaande rand in het bovenste oppervlak, veroorzaken.

Het grootste exemplaar (V322-1, Fig. 6.10) van deze dunne smeedhaardbodem weegt 694 g, heeft een diameter van 12 cm en een dikte van 4 cm, en vertoont afgeronde randen. Een ander iets dunner exemplaar (V339-1, Fig. 6.11) beschikt over een eerder onregelmatige omtrek met een scherpere rand, maar vertoont verder de kenmerkende plano-convexe vorm met een dikte van 3 cm. V303 (Fig. 6.12) is dan weer een ronde smeedhaardbodem met concaaf-convexe vorm en een opgehoogde en afgeronde rand. De indeuking van het centrale gedeelte is waarschijnlijk het resultaat van een continue

luchtstroom langs het oppervlak. Opvallend aan dit exemplaar is de rode verkleuring van het oppervlak, wat ook in andere exemplaren (V 322, V281, V340) waargenomen is. Dit is mogelijk het resultaat van oxidatie van de materie. De doorsnedes van de dunne smeedhaardbodems (V303, Fig. 6.12) tonen de zeer kenmerkende plano- of concaaf-convexe vorm en doorgaans een redelijk compacte en homogene materie met toch een zekere graad van porositeit, die kan toenemen naar onder toe. In dat opzicht vertonen ze gelijkaardige kenmerken als de dikke smeedhaardbodems. Ook hier kan corrosie een grote impact hebben op de samenstelling van de materie en resulteren in een eerder poreus of heterogeen uiterlijk. Bij het doorsnijden van enkele smeedslakken – die initieel niet in deze groep werden geplaatst door een ophoping van sediment of corrosieproducten aan het oppervlak – werd geregeld een gelijkaardige materiële samenstelling waargenomen. Ook van dit type smeedhaardbodem zijn mogelijks verschillende fragmenten of eerder onregelmatige exemplaren aanwezig, waardoor het moeilijk is om het exacte aantal te bepalen.



Fig. 6.10: Plano-convexe smeedhaardbodem V322: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.11: Plano-convexe smeedhaardbodem V339: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.12: Plano-convexe smeedhaardbodem V303: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

Tussen de ijzerslakken bevinden zich ook enkele opvallend kleine smeedhaardbodems met een plano-convexe vorm en afgeronde randen, en occasioneel met meerdere lagen. Een voorbeeld van dit kleine type met twee smeedlagen (V281, Fig. 6.13) weegt 267 g, heeft een diameter van 8,5 cm en een dikte van 3 cm. Een ander exemplaar (V331-1, Fig. 6.14) bestaat uit twee hevig gecorrodeerde en/of geërodeerde helften met een totaalgewicht van 176 g. De diameter meet 8 cm en de fragmenten hebben een maximale dikte van 1,7 cm.



Fig. 6.13: Kleine smeedhaardbodem met een plano-convexe vorm, afgeronde randen en twee smeedlagen V281: bovenzijde (links boven), onderzijde (rechts boven), zijaanzicht (onderaan).

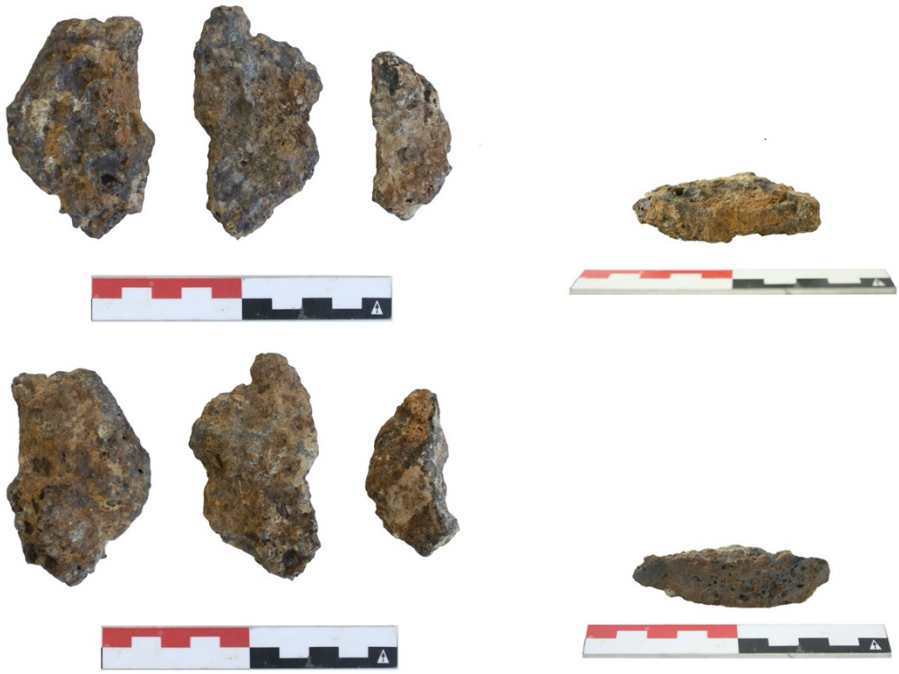


Fig. 6.14: Kleine smeedhaardbodem met een plano-convexe vorm, afgeronde randen en meerdere smeedlagen V331-1: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

Bepaalde stukken laten duidelijk zien hoe de slak zich tegen de haardwand aan vormde, net onder de blaaspijp. Dit is waarneembaar bij slak V333 (Fig. 6.15), waarbij een beginnende plano-convexe massa zich loodrecht op de resten van de haardwand heeft opgehoopt. De haardbekleding vertoont een hevig verglaasd oppervlak aan de binnenzijde en een gefragmenteerde buitenzijde met een rode geoxideerde verkleuring. Op enkele centimeters boven de bovenzijde van de ijzerslak bevindt er zich een half-circulaire, hevig verglaasde inkeping in het aardewerk. Dit is mogelijk de rand van de haardwand, waar de blaaspijp zich situeerde. Dit verklaart eveneens de roodkleurige oxidatie van het aardewerk.

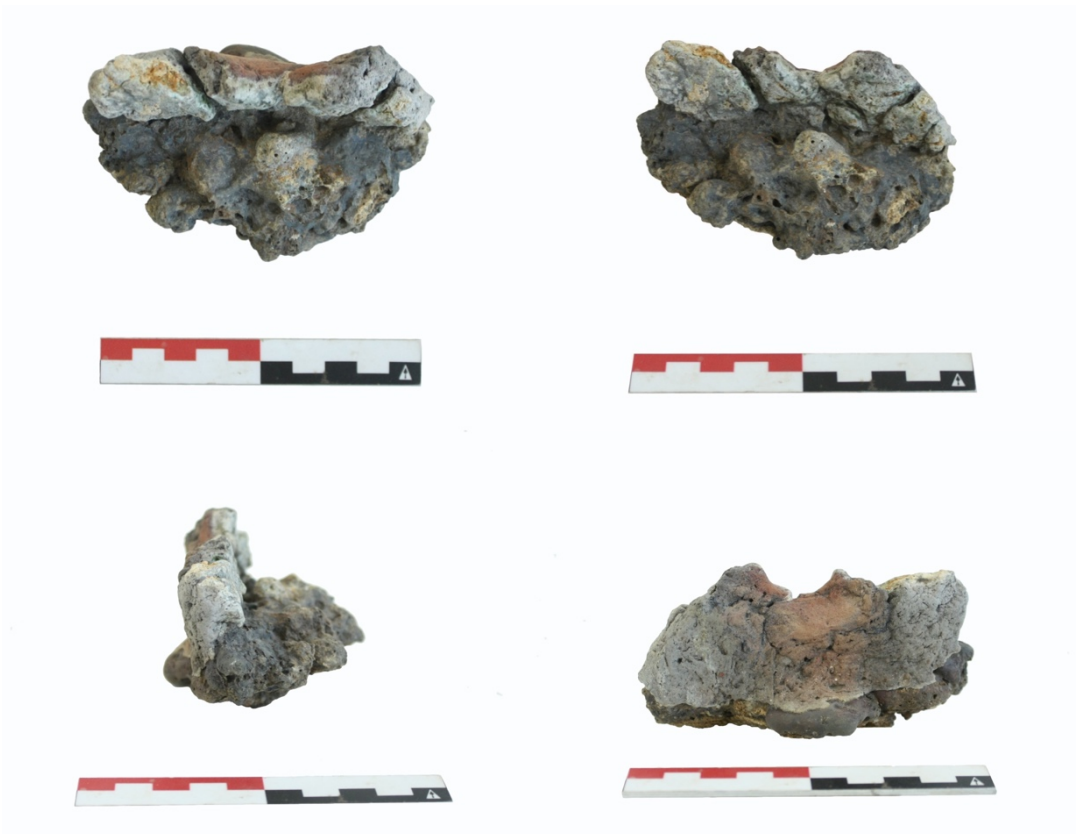


Fig. 6.15: Fragment V333, i.e. onvolledig gevormde plano-convexe ijzerslak met grote hoeveelheid verglaasde resten haardwand, mogelijk met afdruk van blaaspijp: bovenkant (links boven), diagonaal bovenaanzicht met afdruk van blaaspijp (rechts boven), zijkant (links onder) en buitenzijde met gefragmenteerde haardwand (rechts onder).

Onregelmatige & non-diagnostische fragmenten

Vrijwel de helft van het slakmateriaal betreft brokken waarbij geen plano-convexe vorm waargenomen kon worden door de hoge graad van fragmentatie en/of de aanwezigheid van corrosieproducten. Bij verschillende fragmenten doet de compacte en schijnbaar homogene samenstelling en/of specifieke oppervlaktetexturen vermoeden dat het hier ook om smeedslakken en eventueel fragmenten van smeedhaardbodems gaat. Inderdaad, bij het doorsnijden van enkele van deze eerder onregelmatige fragmenten vertoont de samenstelling van de materie sterke gelijkenissen met de smeedhaardbodems (e.g. V313-2, Fig. 6.16; V340-1, Fig. 6.17). Bij fragment V340-1 konden zelfs twee lagen waargenomen worden, waarvan de bovenste iets lichter is van kleur door een hoger percentage aan silica of calcium.

Deze voorbeelden tonen aan dat ijzerslakken in hun totaliteit niet altijd gemakkelijk te determineren zijn en dat een doorsnede meer duidelijkheid kan brengen.

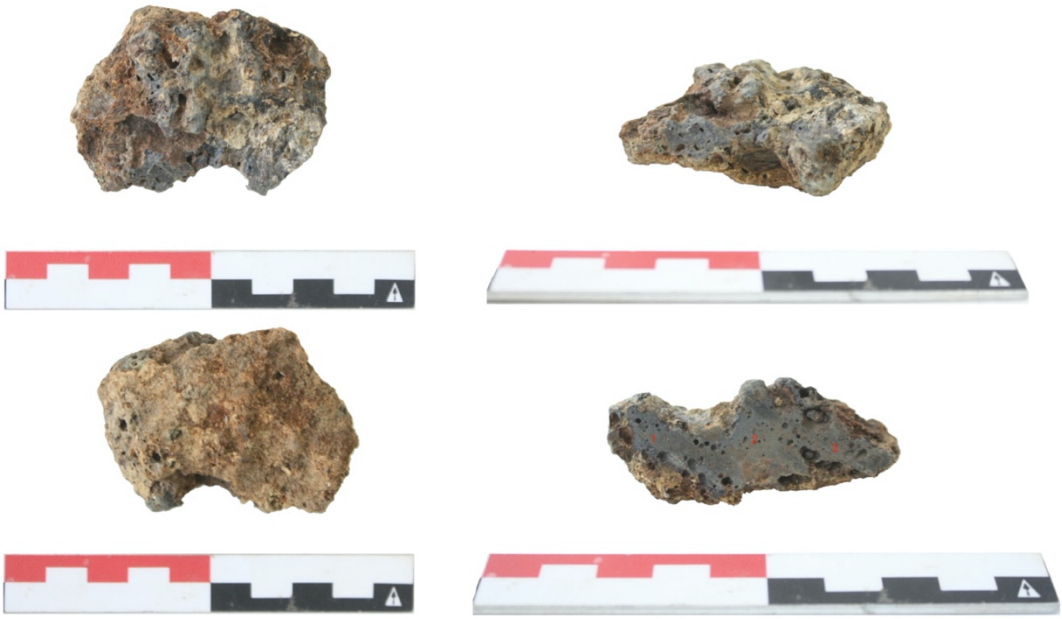


Fig. 6.16: Onregelmatig fragment V313-2: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

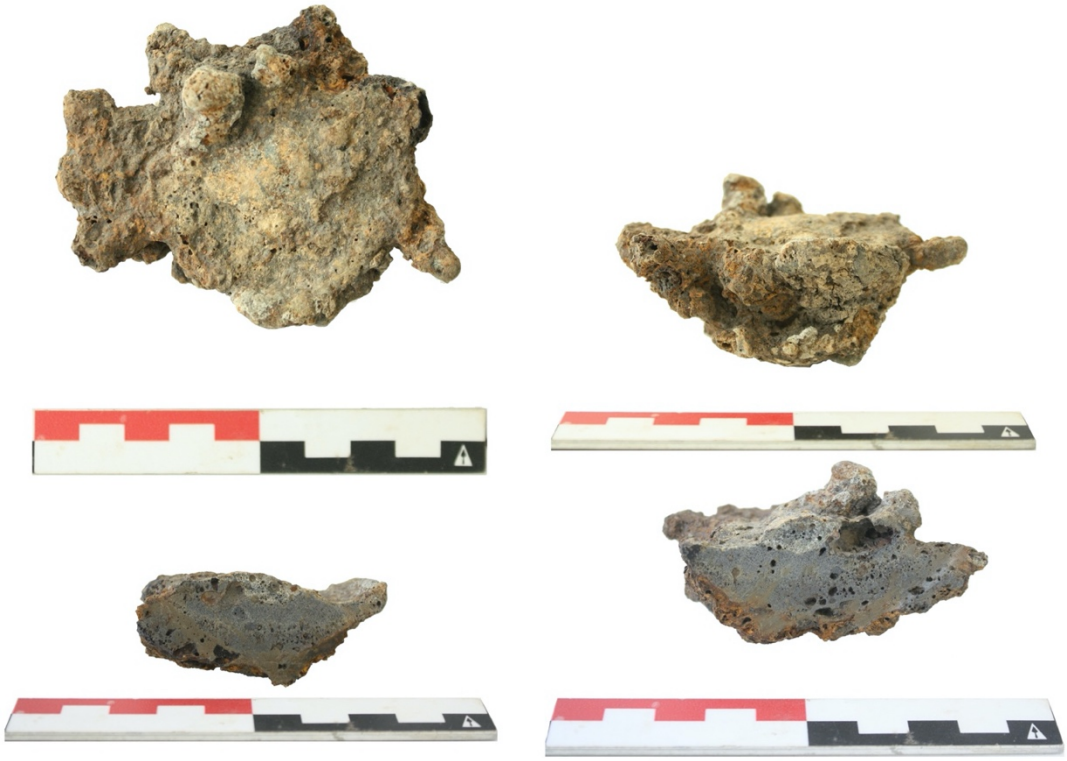


Fig. 6.17: Onregelmatig fragment V340-1: bovenzijde (links boven), zijaanzicht (rechts boven), doorsnede 1 (links onder) en doorsnede 2 (rechts onder).

Er zijn verschillende ijzerslakken die in vele opzichten als smeedslakken geïdentificeerd kunnen worden, maar over een onregelmatige vorm of eerder globulaire onderzijde beschikken. De aanwezigheid van houtskoolindrukken en/of -inclusies suggereert de mogelijkheid dat deze eventueel in de oven gevormd werden.

Een eerste exemplaar van dit subtype betreft V291 (Fig. 6.18). De slak is niet uitgesproken rond door een licht globulaire bovenzijde, maar toch is sprake van een duidelijk afgeronde rand. De maximale diameter bedraagt slechts 6,8 cm. De onderzijde vertoont enkele globulaire uitsteeksels en houtskoolinclusies. De doorsnede toont een eerder heterogene samenstelling met een hoge graad van porositeit, luchtbellen en corrosie, alsook de aanwezigheid van houtskoolinclusies. Een tweede exemplaar (V310, Fig. 6.19) beschikt eveneens niet over een duidelijke plano-convexe vorm. De bovenzijde is redelijk knobbelig, terwijl de onderzijde door de aanwezigheid van holtes eerder globulair oogt. Het oppervlak is geheel bedekt door corrosieproducten en korstig sediment en langs de onderzijde is een kalkrijke korstlaag zichtbaar. Net zoals het vorige exemplaar vertoont de doorsnede van deze slak een heterogene samenstelling met kalkrijke of hevig gecorrodeerde zones, grote luchtbellen en houtskoolinclusies.



Fig. 6.18: V291: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).



Fig. 6.19: V310: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

Het zijn vaak corrosie en fragmentatie die het accuraat determineren van ijzerslakken bemoeilijken. De slakken uit Borsbeek worden ook gekenmerkt door slakkenmateriaal met een opvallend lichtere kleur, wat mogelijk wijst op een hogere hoeveelheid silica of calcium. De slakken kunnen verder verschillende vormen aannemen. Zo zijn er dunne plano-convexe fragmenten die sterk lijken op de brandstofasseslakken, maar een lagere graad van verglazing vertonen en op basis van hun gewicht toch nog een groot aandeel aan slakmateriaal lijken te bevatten. Er zijn ook andere voorbeelden, zoals V344-1 (Fig. 6.20), die gelijkaardig zijn aan de dikke smeedhaardbodems met meerdere smeedlagen: een plano-convexe vorm met een licht golvende bovenzijde en een korstlaag onderaan. De kalkrijke materie is echter zeer gecorrodeerd en vesiculair van textuur.



Fig. 6.20: V344-1: bovenzijde (bovenaan), zijaanzicht 1 (links onder) en zijaanzicht (rechts onder).

Brandstofasseslakken

In het ensemble zijn er ook een groot aantal fragmenten versinterde en verglaasde brandstofasse aangetroffen (ca. 157 fragmenten, ca. 2,7 kg). De brandstofassesintels zijn gewoonlijk onregelmatige brokjes met een eerder minimale graad van verglazing. De brandstofasseslakken zijn doorgaans heviger verglaasd en vertonen geregeld een platte of eventueel concaaf-convexe vorm met afgeronde onregelmatigheden (vb. V250-1, Fig. 6.21; V313-3, Fig. 6.22). Occasioneel zijn er zelfs vloeitexturen waar te nemen. Door deze vormelijke kenmerken zijn ze zeer gelijkaardig aan de silica/calciumrijke ijzerslak, maar een onderscheid kan gemaakt worden op basis van het lichtere gewicht, de lichte kleur en de porositeit van de materie. De brandstofasse-slakken zijn het resultaat van het samensmelten van de brandstofassen op de bodem van de smeedhaard, waarbij ze al dan niet de komvorm van de kuil kunnen aannemen. Daar ze in contact komen met de haardwand en de ijzerslakken kunnen de brandstofasse-sintels en -slakken ook resten of lagen aardewerk of ijzerslak bevatten. De verglaasde brandstofasse kan ook een groene verkleuring vertonen door het ijzeroxide, en vele fragmenten hebben roestkleurige vlekken en/of materie wat wijst op een aandeel gecorrodeerd ijzer.

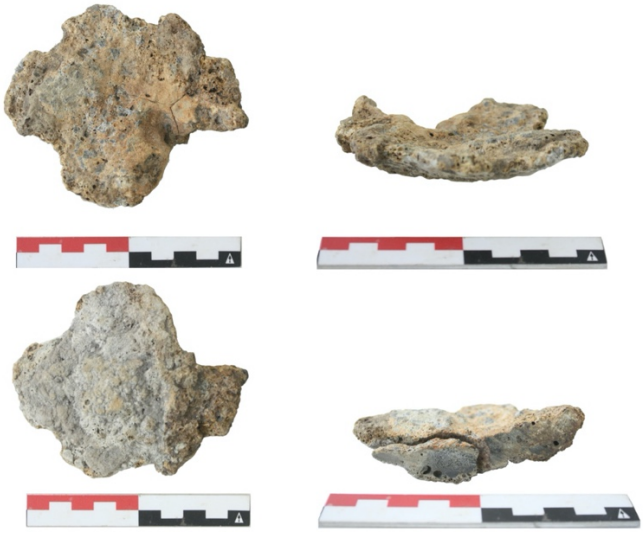


Fig. 6.21: Brandstofslak V250-1: bovenzijde (links boven), onderzijde (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

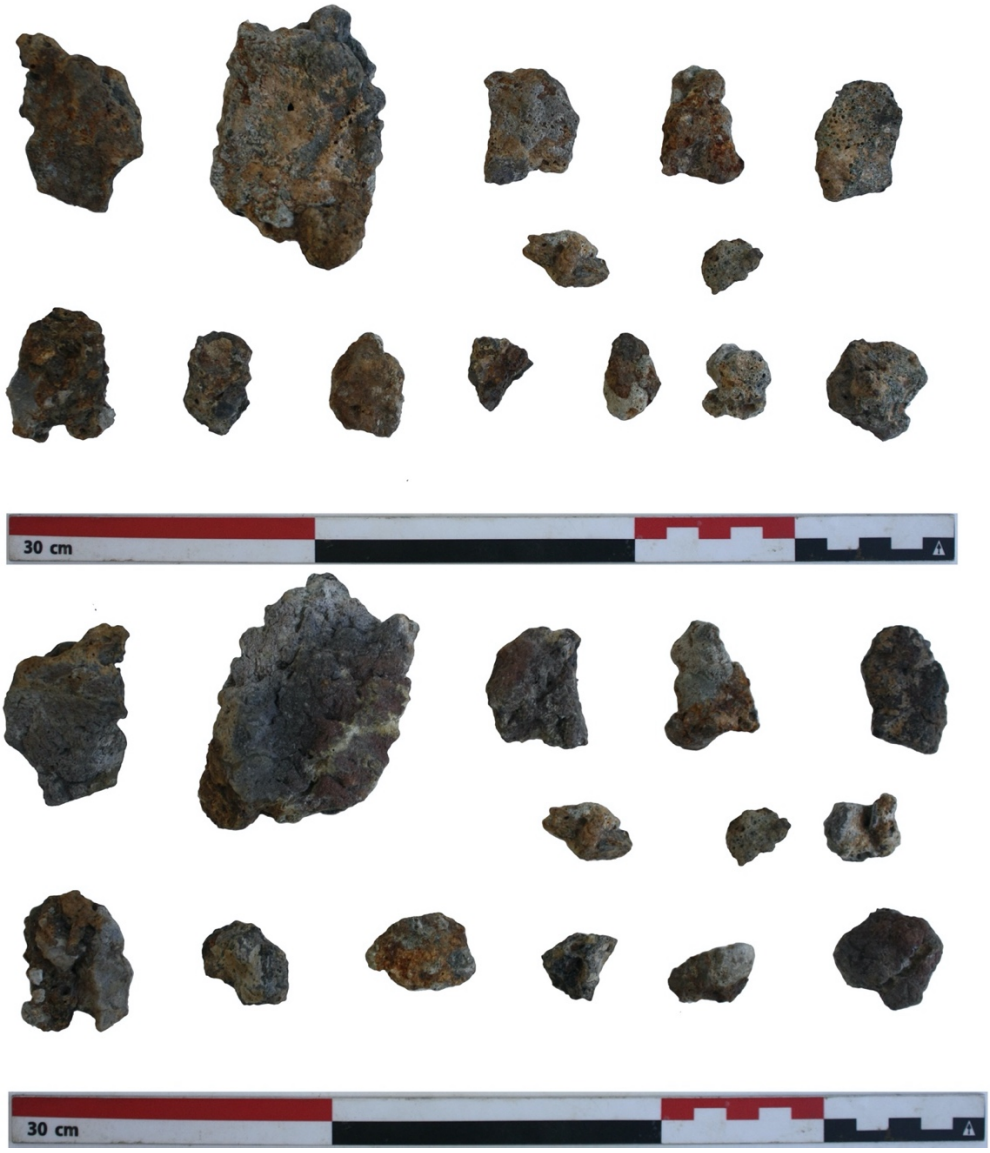


Fig. 6.22: Brandstofslak V313-3: bovenzijde (boven) en onderzijde (onder).

Technisch aardewerk

Er konden in totaal ca. 51 fragmenten (ca. 802 g) aardewerk onderscheiden worden die aan hoge temperaturen blootgesteld werden. De binnenzijde vertoont steevast een poreus versinterd of hevig verglaasd oppervlak, al dan niet met een laag verglaasde brandstofasse-slak. Het buitenste oppervlak van de fragmenten is steeds gefragmenteerd. Deze eigenschap, in combinatie met de determinatie van voornamelijk smeedslakken in het ensemble, doet ons veronderstellen dat de fragmenten aardewerk afkomstig zijn van de smeedhaard. Bij een smeltoven kan men mogelijk fragmenten verwachten met een bewaard oppervlak aan de buitenzijde, al moeten we in overweging nemen dat de buitenzijde van de structuur slechts minimaal aan hoge temperaturen blootgesteld werd en dus geen verglazing vertoonde. Dit oppervlak kan bijgevolg onderhevig zijn geweest aan postdepositionele processen en afgebrokkeld zijn.

De fragmenten hebben doorgaans een grijze kleur, door de blootstelling aan eerder reducerende condities. Van het oorspronkelijk bruinrood gekleurde aardewerk is slechts occasioneel nog iets waar te nemen. De verglaasde binnenzijden hebben door de aanwezigheid van de verglaasde brandstofasse een eerder witte tot groenige kleur, afkomstig van het ijzeroxide. Enkele fragmenten vertonen ook een laag of ophoping van ijzerslak aan de verglaasde binnenzijde. Door de fragmentarische aard van de stukken is een duidelijke vorm niet te onderscheiden. Het zwaarste fragment zonder ijzerslak weegt 91 g en is zeer onregelmatig gevormd met een maximale lengte van 7,6 cm (V359-3, Fig. 6.23). Het dikste fragment (V250-2, Fig. 6.24) heeft een dikte van 4 cm. De bodems van de smeedhaarden werden mogelijk dus bekleed met een laag aardewerk tot 4 cm dik. Deze aanzienlijk dikte zou alsnog kunnen wijzen op het feit dat de fragmenten afkomstig zouden kunnen zijn van een smeltoven, maar dit is moeilijk aan te tonen.

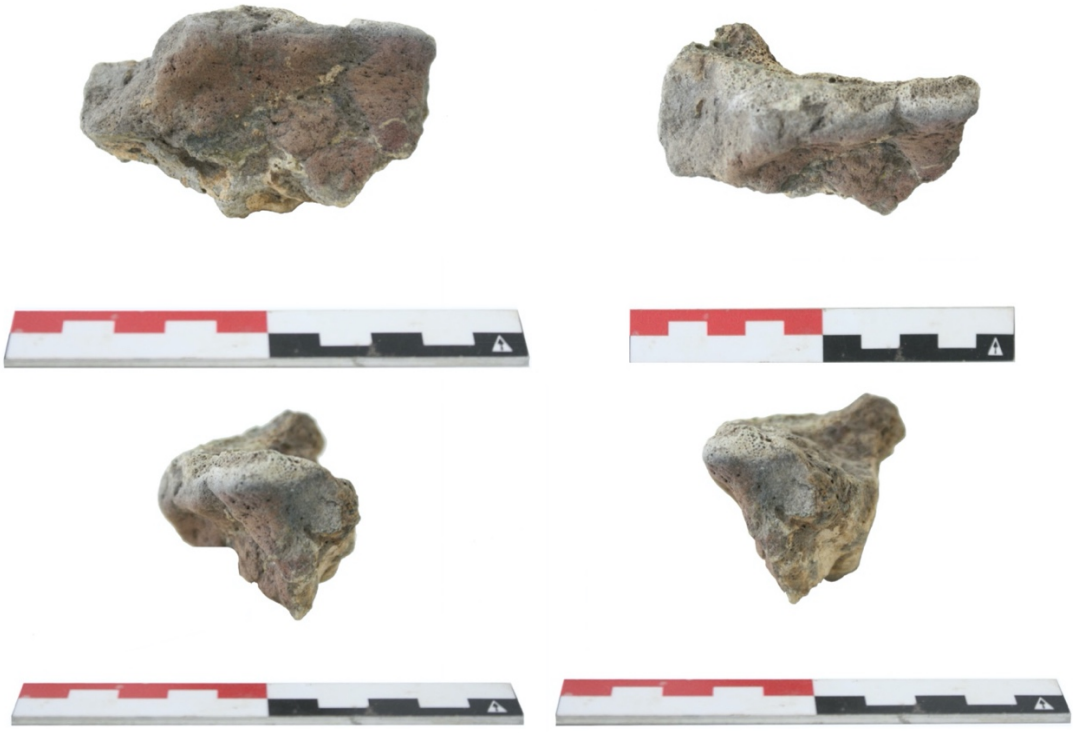


Fig. 6.23: Technisch aardewerk V359-3: buitenkant met aardewerk (links boven), zijkant 1 (rechts boven), zijkant 2 (links onder) en zijkant 3 (rechts onder).



Fig. 6.24: Technisch aardewerk V250-2: bovenzijde (links boven), onderzijde (onderaan) en zijaanzicht (rechts boven).

Metallurgisch afval

Ter aanvulling van alle bovengenoemde vondstcategorieën zijn er heel wat brokken en fragmenten (ca. 270, ca. 5,1 kg) aanwezig die mogelijk wel met metallurgische activiteiten verband houden, maar niet duidelijk gedetermineerd konden worden. Hieronder rekenen we sintels, eventuele fragmenten conglomeraat of een samensmelting van slakkenmateriaal, brandstof(asse), onverwerkt erts en andere non-diagnostische stukken.

6.1.1.4. Microstructurele en chemische analyse van de ijzerslakken

Chemische samenstelling (pXRF)

Negentien ijzerslakken werden doormidden gezaagd. Het betreft verschillende voorbeelden van plano-convexe smeedhaardbodems maar ook non-diagnostische en twee zeer kalkrijke fragmenten. Deze doorsnedes werden onderworpen aan een vergelijkende studie van de chemische samenstelling aan de hand van pXRF.

Op het eerste gezicht zijn er geen grote verschillen in de chemische samenstelling van alle geselecteerde ensembles waar te nemen. De metingen van de primaire componenten van de ijzerslak, i.e. ijzer, silica en aluminium, vertonen gelijkaardige waarden. Toch onderscheiden de ijzerslakken van Borsbeek zich duidelijk door hoge calciumwaarden. Het gemiddelde van calcium is minstens het drievoud van wat gemeten is bij de andere *case studies*. Bij het smelten van ijzererts werd calcium wel eens gebruikt als vloeimiddel (of *flux*). In combinatie met SiO_2 kunnen non-ferro oxiden zoals CaO, MnO en FeO optreden als *flux*. Zo kan meer ijzer vrijgemaakt worden om de ijzerwolf te vormen (Scott e.a. 2016, 106). Het zou hier echter gaan om smeedslakken, en de torenhoge waarden voor calcium gaan gepaard met relatief hoge waarden voor kalium (K) en fosfor (P). Zoals Scott e.a. aangeven kunnen deze drie elementen indicatief zijn voor de gebruikte brandstof (Scott e.a. 2016, 96). Zo is het mogelijk dat in Borsbeek tijdens de ijzertijd een ander type brandstof gebruikt werd bij de bewerking van de ijzerwolf.

Dusdanig hoge waarden voor calcium, kalium en fosfor wijzen echter op een opvallend grote wisselwerking tussen de ijzerslak en de brandstof, wat doorgaans niet van toepassing is bij secundaire smeedactiviteiten, maar wel gemakkelijker te verklaren is bij primaire smeltprocessen. Dit doet de vraag rijzen of de plano-convexe ijzerslakken van Borsbeek effectief smeedhaardbodems zijn of toch eerder een ander type van reductieslakken of primaire smeedslakken, i.e. slakken die gevormd worden bij de raffinage van een ijzerwolf die nog doordrongen is van een zeer grote hoeveelheid aan ijzerslak. Een dergelijk resultaat kan nog worden verwacht bij de vroegste ovenstructuren in onze gewesten, waarbij de slak en de ijzerwolf fysiek niet volledig gescheiden konden worden.

Een ander opvallend gegeven is dat de metingen voor dit calcium in de ijzerslakken van Borsbeek, die hoofdzakelijk geïdentificeerd kunnen worden als smeedhaardbodems, een grotere variatie tonen dan deze uit de andere *case studies*, die beantwoorden aan verschillende types en mogelijk verschillende praktijken zoals het primaire smelten en het secundaire smeden. Deze diversiteit komt, naast calcium (CV 63), ook naar voren in de metingen voor kalium (CV 85), silica (CV 63), fosfor (CV 42) en aluminiumoxide of alumina (CV 40). Met exclusie van fragment BO V250-1, waarbij in slechts één van de zes metingen alumina gedetecteerd werd, ligt deze variabiliteit van de fragmenten van Borsbeek een heel stuk lager en is deze gelijkaardig aan die van de andere sites. Desondanks, *principal component analysis* toont een zeer duidelijke spreiding van de waarden voor calcium, die duidelijk afwijken van de andere *case studies*. Deze variabiliteit duidt op een zekere willekeurigheid of minder uniforme handelingen van de (pre)historische ijzerproducent, wat minder vanzelfsprekend is bij secundaire smeedprocessen.

Op site-niveau zijn er verder geen duidelijke patronen waargenomen in de chemische samenstelling van de fragmenten van Borsbeek. Er kan geen duidelijke correlatie vastgesteld worden tussen de drie primaire elementen in de ijzerslakken, i.e. ijzer, alumina en silica, en/of de andere elementen. Wel merken we een onderling verband op tussen mangaan en ijzer: beide elementen nemen simultaan toe of af. We kunnen bijgevolg stellen dat mangaan mogelijk een component is van het gebruikte ijzererts, wat zeer waarschijnlijk ijzeroer was. Mangaan is immers een veelvoorkomend element in ijzeroer (van Enk 2016, 50).

Verder kunnen we V250-1 en V313-1 onderscheiden van de andere fragmenten door de lage waarden voor ijzer. In fragment V250-1 gaat dit gepaard met zeer lage waarden voor aluminium en uiterst hoge waarden voor silica, calcium en kalium. Dit fragment werd geclassificeerd als een fragment brandstofasseslak, wat de verhoogde waarden voor calcium en kalium verklaart. De hoge silicawaarden zijn mogelijk te relateren aan het contact van deze brandstofasseslak met de bekleding van de haardbodem. In twee van de drie metingen (met meerdere pogingen) werd geen aluminium gedetecteerd. Het is niet duidelijk of dit het resultaat is van een analytische *error*. Fragment V313-1 betreft een gefragmenteerde, redelijk dikke en grote compacte smeedhaardbodem met meerdere smeedlagen en kalkrijke zones in de doorsnede. In combinatie met de lage ijzercontent kon een relatief hoge waarde voor calcium waargenomen worden. Een ander fragment waarvan de samenstelling afwijkt van de andere exemplaren is V331. Het betreft de helft van een dunne en kleine gecorrodeerde smeedhaardbodem met rood-paarse verkleuring van het oppervlak. De doorsnede oogt homogeen en compact, maar poreus. De corrosieproducten hebben de materie doordrongen, wat de zeer hoge ijzerwaarden kan verklaren. De hoge ijzerwaarde gaat ook gepaard met relatief hoge waarden voor aluminium en mangaan. De metingen voor calcium en kalium zijn dan weer zeer laag, wat mogelijk wijst op een minimaal aandeel van brandstofasse in deze ijzerslak. Dit wordt bijkomend geïllustreerd door de homogene donkergrijs-zwarte kleur van de materie.

Verder kunnen de fragmenten eventueel opgedeeld worden op basis van de relatief hoge of lage waarden voor ijzer, calcium of de andere elementen. Er is echter geen duidelijke verklaring te geven voor deze compositionele groepen, daar ze niet aan bepaalde types van smeedhaardbodems en dergelijke gerelateerd kunnen worden.

Microstructurele samenstelling

Voor de microscopische studie werden er stalen genomen van tien fragmenten, met een omvang van ca. 1 cm^3. Van één fragment met meerdere smeedlagen, i.e. V313, werden twee stalen genomen, van een zone bovenaan en een zone onderaan in de doorsnede. De microstructuren van deze twee stalen zijn een duidelijk voorbeeld van de gekende variabiliteit van ijzerslakken, dewelke doorgaans ook waar te nemen is in de chemische samenstelling en uitvoerig besproken werd door Humphris e.a. (2009). Door de wisselwerking van zeer uiteenlopende factoren in het smeed-, maar in het bijzonder het smeltproces, is de uniformiteit van de ijzerslakken afkomstig van hetzelfde proces eerder minimaal en vertonen de ijzerslakken doorgaans verschillen in microstructuur en samenstelling, niet enkel tussen de slakken onderling maar ook binnen dezelfde slak. Zoals bij V313 is een duidelijk verschil op te merken tussen de bovenste laag en de onderste laag van de doorsnede, waarbij de onderste laag niet alleen wordt gekenmerkt door een toename van calciumwaarden, maar microstructureel ook een

andere samenstelling vertoont. Binnen éénzelfde staal is variatie in de microstructuur dus absoluut geen uitzondering. Toch tonen de stalen van Borsbeek een relatief uniforme microstructurele samenstelling, met enkele uitschieters die mogelijk te verklaren zijn door het hoge aandeel aan calcium.

De hoofdcomponenten van de microstructuur van ijzerslakken zijn steevast ijzersilicaten (doorgaans fayaliet, $2FeO.SiO_2$) ingebed in een glasachtige matrix (doorgaans anortiet, $CaAl_2Si_2O_8$), ijzeroxiden en al dan niet metallisch ijzer. Deze komen voor in zeer uiteenlopende hoeveelheden, samenstellingen en vormen, dewelke afhankelijk zijn van enerzijds de chemische samenstelling van de ruwe materialen en anderzijds de productieomstandigheden zoals de temperatuur, reducerende condities en afkoelsnelheid. In de stalen van Borsbeek kunnen geen microstructurele groepen onderscheiden worden, wat overeenkomt met de bevindingen op macroscopisch niveau. Over het algemeen kunnen we stellen dat de meerderheid van de stalen van Borsbeek wordt gekenmerkt door de veelvuldige of zelfs dominante aanwezigheid van ijzeroxiden, die voorkomen als iets grotere stippen of vlekken en/of volwaardig gevormde dendritische structuren, i.e. wüstiet. De vorming van dendritische structuren wijst erop dat deze ijzerslakken zich vormden in eerder reducerende condities. De ijzeroxiden kunnen ook danig variëren in hoeveelheid en bij momenten afnemen of verzamelen tot clusters van ijzeroxiden. Deze clusters kunnen enerzijds geïnterpreteerd worden als opnieuw geoxideerd metallisch ijzer dat zich reeds heeft kunnen vormen, of als onvolledig gereduceerde resten van het ijzererts.

De hoge hoeveelheid aan ijzeroxiden maakt het moeilijk om de onderliggende ijzersilicaten en matrix te onderscheiden, maar fayaliet lijkt doorgaans dominant aanwezig te zijn als langwerpige kristallen. De grootte en vorm van deze fayalietkristallen is een indicatie voor de snelheid van het koelproces van de ijzerslakken. Dit is afhankelijk van de tijd die de kristallen nodig hebben om zich te vormen of te groeien. Voor de meeste voorbeelden lijkt dit niet bijzonder snel of traag te zijn geweest. Er zijn echter wel enkele stalen waarbij de microstructuur gekenmerkt wordt door een zeer fijne kristallijne fase. Deze dus mogelijk gevormd tijdens een zeer snel koelingsproces. Er zijn ook enkele voorbeelden of zones waarbij de ijzersilicaten en matrix volledig versmolten zijn tot een glazige massa, mogelijk door verhoogde concentraties aan calcium en/of silica.

Metallisch ijzer komt in zeer uiteenlopende hoeveelheden en groottes voor. Op een lage vergroting van 5x kunnen in ongeveer de helft van de stalen ijzerpartikels waargenomen worden, met hoeveelheden die variëren van slechts 1 tot 100 of meer. De grotere hoeveelheden aan metallisch ijzer lijken gelinkt aan de minder kalk- of silicarijke ijzerslakken, die ook een zekerere graad van corrosie vertonen. Het voorkomen van metallisch ijzer in ijzerslakken wordt doorgaans eerder gerelateerd aan primaire ijzerproductie, maar de hoeveelheden in deze exemplaren zijn te variabel en niet opvallend uitgesproken. De dominante aanwezigheid van ijzeroxide wordt ook vaker waargenomen in smeltslakken dan in smeedslakken. Het onderscheiden van primaire en secundaire ijzerslakken op basis van microstructurele samenstelling is echter een complex gegeven. Er wordt wel eens verondersteld dat de samenstelling van de ijzerslak, waarvan de ijzerwolf doordrongen is, slechts minimaal verandert bij de raffinage of het smeden. Mogelijk werd de ijzerslak niet onderworpen aan voldoende hoge temperaturen om een impact te hebben op de samenstelling, maar was de temperatuur voldoende hoog om de slak als een semi-vloeibare materie uit de ijzerwolf te drijven.

6.1.1.5 Samenvatting

De metallurgische resten zijn zonder twijfel afkomstig van ijzerproductie. Onder de ijzerslakken (289 fragmenten, ca. 25,9 kg) kunnen we een onderscheid maken tussen plano-convexe ijzerslakken (128 fragmenten, ca. 18,5 kg) en onduidelijke of non-diagnostische fragmenten (151 fragmenten, ca. 6,8 kg). De plano-convexe ijzerslakken zijn in eerste instantie te identificeren als vrijwel volledige of gefragmenteerde smeedhaardbodems. Met uitzondering van enkele twijfelgevallen lijken de ijzerslakken van Borsbeek dus te resulteren van smeedactiviteiten. Er zijn geen exemplaren die zonder twijfel geïnterpreteerd kunnen worden als resten van de voorafgaande fase in het productieproces, i.e. de reductie van het ijzererts in de oven. De correlatie tussen ijzer en mangaan in de chemische samenstelling van de geanalyseerde fragmenten toont wel aan dat ijzeroer gebruikt werd als erts in de initiële reductieprocessen. Waar deze dan mogelijk plaatsgevonden hebben is niet duidelijk.

Op basis van deze plano-convexe ijzerslakken en fragmenten technisch aardewerk kunnen we stellen dat de smeedhaard mogelijk bestond uit een eenvoudige opdieping in de grond, dewelke werd bekleed met een laag aardewerk tot ca. 4 cm dik. Deze werd opgewarmd met houtskool, en aangedreven met een blaaspijp die op de rand van de haard rustte, zoals enkele fragmenten ijzerslak en technisch aardewerk aantonen. Bij het verhitten van de ijzerwolf of het deels geraffineerde ijzer in de haard vloeide de overige ijzerslak uit de massa en hoopte deze zich op in de haard. Zo kon er zich een plano-convexe *cake* vormen tegen de haardwand aan, net onder het punt van de luchttoevoer. Ook zijn er voorbeelden waarbij de ijzerslak mogelijk op de bodem van de haard, op een laag brandstofasse, samensmolt tot een plano-convexe *cake*. De uiteenlopende omvang en vormen van de plano-convexe smeedhaardbodems wijzen er mogelijk op dat er geen absolute continuïteit of standaardisatie was in de activiteit. Soms werd een haard niet geleegd alvorens de smid aan een nieuwe raffinage of smeedopdracht begon, waardoor de ijzerslak zich ophoopte op de voorgaande. Sommige smeedhaardbodems zijn eerder groot in omvang, terwijl andere zeer klein zijn. De ene smeedhaardbodem vormde zich tegen de haardwand aan, terwijl de andere meer in het midden van de haard samensmolt.

Op basis van de hoeveelheid ijzerslakken (ca. 25,9 kg) kunnen we stellen dat zeker 2,6 kg ijzer vervaardigd werd (ratio slak-ijzer 10%). In het smeden is de verhouding tussen slak en ijzermetaal zelfs kleiner, waardoor we ervan uitgaan dat deze hoeveelheid slak overeenkomt met grotere hoeveelheden ijzermetaal dan de bovengenoemde 10%. We spreken hier dus niet van grootschalige metallurgische activiteiten

De metallurgische resten zijn afkomstig uit één context, een waterkuil, die mogelijk diende als afvalput. Dat er verder geen sporen van metaalproductie zijn aangetroffen op de site maakt het moeilijk te stellen waar de metallurgische activiteiten mogelijk hebben plaatsgevonden. Het is niet uitzonderlijk dat de secundaire smeedprocessen niet zichtbaar zijn in het archeologisch bestand. Smeedhaarden blijven door de slechts kortstondige onderwerping aan de hoge temperaturen niet goed bewaard. Het aardewerk wordt slechts minimaal gebakken en zal vaak door postdepositionele processen verpulveren. Het enige wat gewoonlijk rest zijn de ijzerslakken en de versinterde of verglaasde resten aardewerk en brandstofasse. Omdat er geen duidelijke aanwijzingen zijn voor locatie van de primaire reductieprocessen op de site of in de regio rijst de vraag waar deze processen dan mogelijk wel plaatsgevonden hebben.

Ondanks het feit dat de ijzerslakken van Borsbeek lijken te beantwoorden aan de macroscopische kenmerken van de plano-convexe smeedhaardbodem, zijn er verschillende aspecten in de chemische en microstructurele samenstelling, alsook bepaalde zaken in het ensemble die andere (productie)technieken suggereren. De hoge waarden voor calcium, die mogelijks verband houden met de gebruikte brandstof, zijn moeilijk te relateren aan secundaire smeedprocessen, maar eerder aan primaire activiteiten:

1. In vergelijking met de smeedhaardbodems uit de latere perioden worden deze plano-convexe ijzerslakken van Borsbeek gekenmerkt door een dominante aanwezigheid aan ijzeroxiden in de microstructuur, die doorgaans als eerder grotere stippen of vlekken en in mindere mate als duidelijke dendritische structuren aan bod komen. De hoge hoeveelheid ijzeroxiden in primaire ijzerslakken wordt wel eens gezien als een indicatie van lagere efficiëntie in het reductieproces.
2. Bepaalde fragmenten van het technisch aardewerk tonen een aanzienlijke dikte van 4 cm, die gemakkelijker toe te schrijven is aan ovenstructuren dan aan haardbekledingen. Ook de graad van verglazing en bepaalde bijzonder gevormde exemplaren met ijzerslak zijn moeilijk fysisch als onderdeel van de smeedhaard te reconstrueren.
3. Enkele fragmenten ijzerslakken vertonen erg hoge hoeveelheden aan houtskoolinclusies, die minder gemakkelijke toe te schrijven zijn aan slakken die zich in de smeedhaard vormden dan degene die uit de smeltoven komen.
4. Binnen het gekend databestand is geen duidelijk bewijs voor (een efficiënt uitgevoerde) primaire reductie van het ijzererts in de regio tijdens de ijzertijd. In deze vroege periode kon de ijzerslak en het ijzermetaal fysiek (nog) niet volledig gescheiden konden worden. De correlatie tussen ijzer en mangaan toont wel aan dat ijzeroer gebruikt werd als erts, wat lokaal beschikbaar was.

Dit brengt ons bij de vraag of de plano-convexe ijzerslakken van Borsbeek eventueel (gedeeltelijk) het resultaat kunnen zijn van het primaire smeden van het slak-ijzer-conglomeraat zoals deze in de kom-oven gevormd werden (zie hoofdstuk 4). Dit oventype is de meest eenvoudige en schijnbaar vroegste vorm van reductieoven. Het betrof in principe een éénvoudige komvormige kuil in de grond, afgebakend met hittebestendige klei of stenen. Een mix van erts en houtskool werd in de kuil geplaatst. Zeer waarschijnlijk was de kom-oven ook voorzien van een lage schacht. Zo konden het erts en houtskool ook tijdens het proces toegevoegd worden. Blaasbalgen werden gebruikt om een luchtstroom te creëren om de vereiste hoge temperaturen en reducerende condities te behalen in deze installatie, die zich hoofdzakelijk ondergronds bevindt. Kom-ovens hebben een relatief klein volume en kleine reductiezone waardoor slechts kleine hoeveelheden ijzer konden worden geproduceerd. Mogelijks werden voornamelijk gemakkelijk reduceerbare ertsen zoals moerasijzererts gebruikt. Het resultaat was bijkomend slechts een conglomeraat van ijzer en slak, dewelke manueel van elkaar gescheiden dienden te worden door zeer intensieve arbeid (Joosten 2004, 12; Pleiner 2000, 145). Is het mogelijk dat deze behandeling van het ijzer-slak-conglomeraat, mogelijk met een groot aandeel van brandstof, eventueel dit type van plano-convexe ijzerslakken produceerden? In dit geval is het niet onlogisch dat er geen duidelijke primaire reductieslakken (i.e. vloeislakken) aangetroffen werden.

6.2 Romeinse periode

6.2.1 Site Grobbendonk-*Vorselaarsebaan*

6.2.1.1. Overzicht van bodemsporen en structuren

REYNS N., BRUGGEMAN J. & DIERCKX L. 2014: *Archeologische opgraving Grobbendonk – Vorselaarsebaan zn. "Uitbreiding begraafplaats, 'Kerkenput'"*, All-Archeo, Bornem.

BRUGGEMAN J., REYNS N. & VAN BUGGENHOUT J. 2020: *Eindverslag archeologische opgraving Grobbendonk-Vorselaarsebaan, uitbreiding begraafplaats*, All-Archeo, Bornem.

Aan de Vorselaarsebaan in Grobbendonk werd in 2013 een opgraving uitgevoerd door All-Archeo (vergunning 2013/022). Er werd een site uit de Romeinse periode onderzocht, gelegen aan de rand van de Gallo-Romeinse *vicus* van Grobbendonk. De sporen concentreerden zich voornamelijk in het oosten van het onderzoeksgebied, dat dichter tegen de Romeinse hoofdweg gelegen was. Vermoedelijk werd tijdens het onderzoek de rand van een activiteitenzone vastgesteld, die overging in open ruimte.

In het zuidwesten van het onderzoeksgebied was de sporendensiteit eerder laag. Ter hoogte van een cluster paalsporen was mogelijk een structuur aanwezig, maar er kon geen duidelijke gebouwplattegrond worden afgelijnd. De sporen bevatten geen vondsten, maar hun ligging in de nabijheid van enkele Romeinse kuilen doet een gelijkaardige datering vermoeden. Twee kuilen, centraal en in het noordwesten van het terrein, werden op basis van aardewerk gedateerd in de tweede helft van de 2de eeuw en het begin van de 3de eeuw. Een tweede cluster van (paal)kuilen werd aangesneden in het noordoosten. De cluster omvatte een noordoost-zuidwest georiënteerde gebouwstructuur. Het vondstmateriaal liet enkel toe om het gebouw globaal in de Romeinse periode te dateren.

Een aantal greppels markeerden de westrand van de *vicus*. In één van de greppels was een opening uitgespaard, waar een mogelijk poortconstructie aanwezig was. De ^{14}C-dateringen van twee paalkuilen dateerden de structuur tussen de eerste helft van de 1ste eeuw v.C. en het derde kwart van de 1ste eeuw n.C. Plattegronden van woonhuizen werden niet aangetroffen tijdens het onderzoek. Wel werd een ambachtelijke zone aangesneden, met een duidelijk hogere concentratie aan bodemsporen. In deze zone werd een - initieel als keldertje geïnterpreteerd - spoor (S239) onderzocht. Het gaat eigenlijk om een hutkom, een half ingegraven bijgebouwtje dat vaak in verband wordt gebracht met ambachtelijke activiteiten. De structuur werd op basis van ^{14}C-onderzoek gedateerd tussen het tweede kwart van de 5de eeuw en de eerste helft van de 6de eeuw.

Iets ten zuiden van de hutkom verscheen een groot kuilencomplex (S279). Het spoor strekte zich uit over een oppervlakte van 7,60 m bij 7,26 m en had een homogene grijze vulling. Met behulp van kwadraten werd tot een halve meter diep gesondeerd. Het opgegraven vondstmateriaal dateert uit de 1ste tot de 3de eeuw. Vermoedelijk gaat het om een depressie die werd opgevuld op het moment dat de site werd verlaten. Waarschijnlijk belandde er op dat moment ook ouder nederzettingsafval in de

depressie en werd de site pas opgegeven in de 3de eeuw. Op een dieper niveau bleek de depressie gelinkt te zijn aan een complex van kuilen (S588-S591). De kuilen vertoonden een sterk gelaagde vulling, rechte wanden en een vrij rechte bodem. Op basis van de stratigrafische relaties bleek kuil S590 de oudste te zijn, gevolgd door S591. Het jongste spoor was S588.

Aan de rand van dit kuilencomplex bevond zich een oventje (S278), dat op basis van de vondsten gedateerd werd in de tweede helft van de 1ste eeuw tot de eerste helft van de 2de eeuw. De oven is op basis van stratigrafische elementen in elk geval ouder dan de kuilencluster S588-S591. De aanwezigheid van een zeer grote hoeveelheid metaalslakken en ijzeren nagels lijkt erop te wijzen dat het oventje mogelijk werd gebruikt voor de productie van metalen voorwerpen. Ten slotte werd er ten zuiden van de depressie ook een waterput (S287) onderzocht, met een datering tussen de tweede helft van de 1ste eeuw en de 3de eeuw.

Enkele jaren later onderzocht All-Archeo een terrein dat grensde aan de noordoostelijke hoek van de site. Jammer genoeg was een deel van het onderzoeksgebied al verstoord, omdat de geplande werken al voor de opgraving waren opgestart. Enkel een kleine zone, die niet meer aansloot op de opgraving van 2014, kon nog worden opgegraven. Het onderzoek toonde wel aan dat de ambachtelijke site uit 2014 verder naar het noorden doorliep. In een palenzwerm konden mogelijk twee structuren worden herkend. Ze vertoonden overeenkomsten met het poortgebouwtje uit 2014, maar door de beperkte opgravingsruimte was hun functie niet helemaal duidelijk. In de opgravingszone werden ook nog een waterput en -kuil aangetroffen. De waterput was bijna 6 m diep bewaard. Hij werd waarschijnlijk gedempt in de 3de eeuw. Tijdens dit onderzoek werden er drie slakfragmenten ingezameld, maar deze worden niet verder besproken.

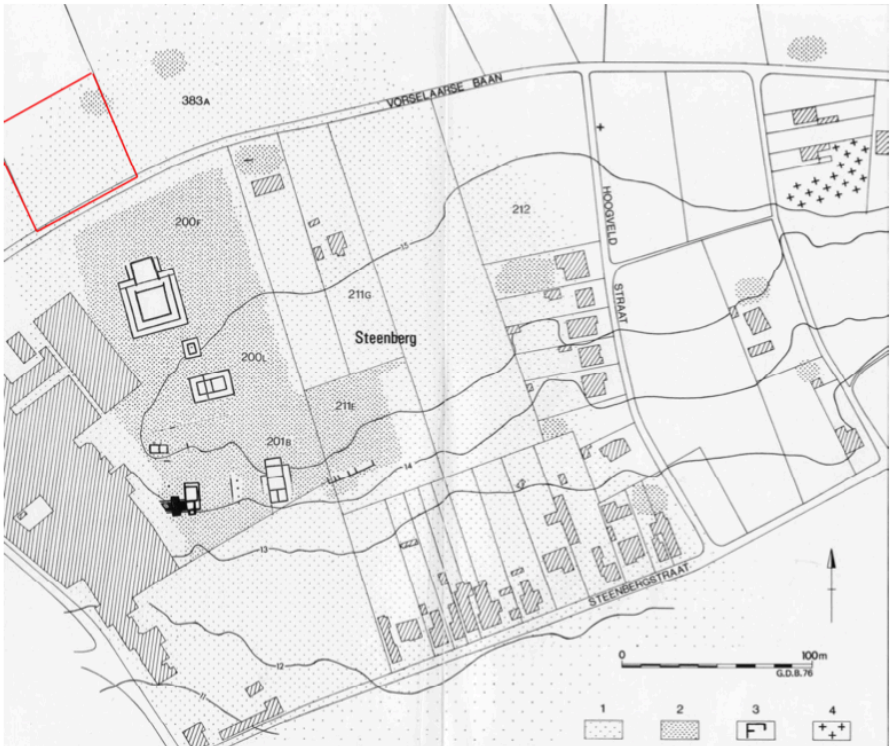


Fig. 6.25: Situering van het plangebied (rode contour) binnen de vicus van Grobbendonk (© All-Archeo en De Boe 1977).

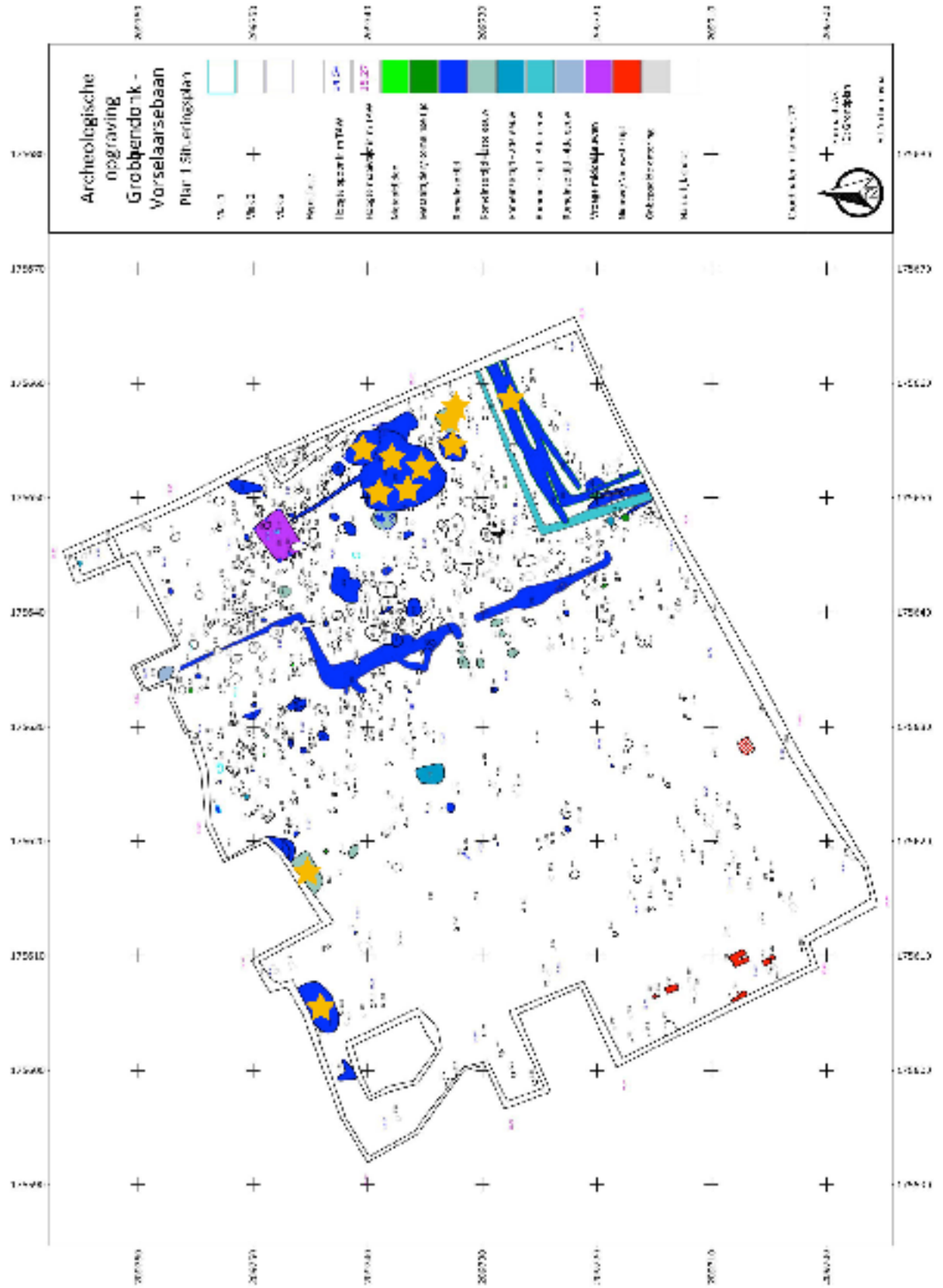


Fig. 6.26: Overzichtsplan van het opgravingsareaal ten noordoosten van het eerder onderzochte terrein in Grobbendonk. De locatie van de slakken is weergegeven met een stervorm.

6.2.1.2. Bodemkundige situering van de site

De vindplaats situeert zich ter hoogte van Sbm-gronden. Deze bodemserie omvat droge lemige zandgronden met een dikke (≥ 60 cm) antropogene humus A-horizont. De ..m-profielontwikkeling sluit aan bij het algemeen beeld uit de bespreking van het geologisch kader, evenals de aanwezigheid van een gunstige drainage (.b.-drainage). De site situeert zich vlakbij uiterst natte alluviale gronden. Verschillende profielen en diepere sporen tonen duidelijk de aanwezigheid van roestvlekken. Hierbij kan het klassieke beeld naar voren geschoven worden, waarbij ijzerhoudende sedimenten de bron vormen van vrij ijzer dat oplost in regenwater en doorheen de ondergrond terechtkomt in de lager gelegen alluviale vallei, waar het eventueel als ijzeroer kan afgezet worden.

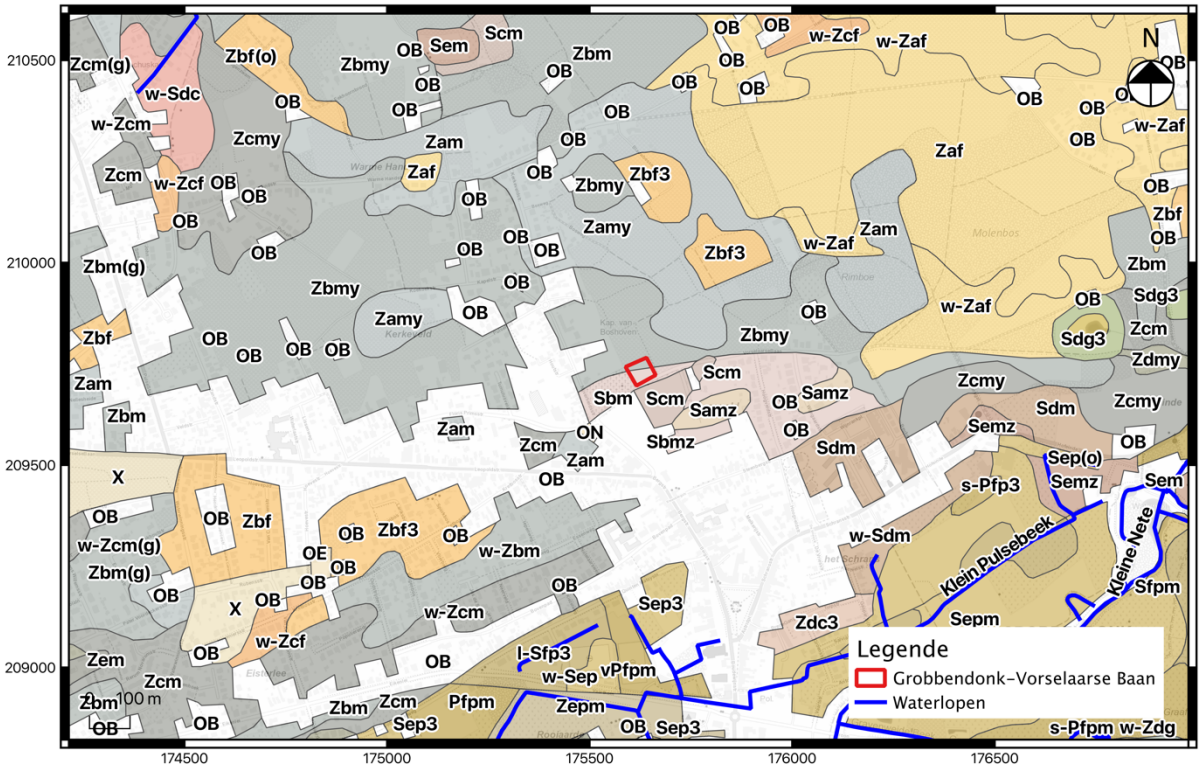


Fig. 6.27: Bodemkaart kaart met aanduiding van de waterlopen en het onderzoeksgebied.



Fig. 6.28: Coupe van S41 van de opgraving in 2020 met duidelijke roestvlekken (©All-Archeo).

6.2.1.3. Metallurgisch ensemble

Het totaal aan metallurgische vondsten heeft een gewicht van ca. 52 kg en bestaat grotendeels uit ijzerslakken (177 fragmenten, ca. 34 kg), maar ook potentieel ertsmateriaal (14 brokken, ca. 10,1 kg), fragmenten technisch aardewerk (73 fragmenten, ca. 2,8 kg) en andere fragmenten of brokken materie (130 fragmenten, 2,4 kg) die door een hoge graad van verglazing of een roestige verkleuring aan metallurgische activiteiten gelinkt kunnen worden.

IJzerslakken

De metaalslakken (177 fragmenten, ca. 34 kg) werden aangetroffen in 11 verschillende sporen. Deze situeren zich vrijwel allemaal in de oostelijke zone van de opgraving. Bijna de helft van de metaalslakken (48% van het totaalgewicht) werd ingezameld uit kuil S279. De overige slakken zijn afkomstig uit het aanpalende spoor S591 (16% gewicht) en de nabijgelegen sporen S588, S590 en S278 (elk 9% volgens gewicht). Buiten de nederzetting zijn sporen S5 en S530 de enige contexten waarin ook metaalslakken aangetroffen werden, respectievelijk 1 (150 g) en 4 (564 g) stuks.
De metaalslakken zijn zonder twijfel afkomstig van ijzerproductie. Onder deze ijzerslakken kunnen we in eerste instantie een onderscheid maken tussen plano-convexe ijzerslakken (ca. 41 fragmenten, ca. 20 kg), knobbelige brokken en fragmenten (90 fragmenten, ca. 9,5 kg), en onduidelijke of non-diagnostische fragmenten (40 fragmenten, ca. 3 kg).

Plano-convexe ijzerslakken

De plano-convexe ijzerslakken van Grobbendonk vertonen sterk uiteenlopende groottes en morfologische eigenschappen. De hoeveelheid plano-convexe slakken was net te klein om een duidelijk onderscheid te maken tussen types, maar toch konden we de plano-convexe ijzerslakken onderverdelen in:

1. dikke en compacte smeedhaardbodems, gewoonlijk bedekt met een laag sediment of zanderig ijzeroxide en
2. knobbelige plano-convexe ijzerslakken, gekenmerkt door een zeer knobbelig of zelfs globulair oppervlak en samenstelling.

Per gewicht kunnen we stellen dat beide soorten ongeveer even frequent voorkomen. Een grote hoeveelheid van de plano-convexe ijzerslakken omvat echter onregelmatige fragmenten en een combinatie van morfologische kenmerken die niet volledig beantwoorden aan één van bovenstaande omschrijvingen.

Er kunnen negen **compacte smeedhaardbodems** onderscheiden worden, met een totaalgewicht van ca. 8 kg. Doorgaans zijn deze smeedhaardbodems schijnbaar groter in omvang dan de exemplaren uit de ijzertijd van de site Borsbeek-Krijgsbaan. Het zwaarste en dikste exemplaar (V121-1a, S279, Fig. 6.30) weegt 2,2 kg, heeft een diameter van 13-15,5 cm en een dikte van 8 cm. Deze smeedhaardbodem heeft een vrijwel plano-convexe vorm met een afgeplatte zijde met resten aardewerk. De bovenzijde heeft een sterk golvend oppervlak met een opstaande rand. De onderzijde heeft een ruw bolvormige vorm met ophopingen en een knobbelige textuur. De slakkenmaterie oogt homogeen en compact met een grijszwarte kleur, maar de gehele smeedhaardbodem is bedekt met een dikke laag sediment of

zanderig ijzeroxide. Een ander exemplaar (V124-1, Fig. 6.29) betreft een gelijkaardige smeedhaardbodem, maar met een minder dikke laag van secundaire corrosieproducten aan het oppervlak en waarbij de compacte en homogene materie duidelijk waar te nemen is. Ook deze heeft een vlakke zijde en in het profiel zijn mogelijk meerdere lagen als ophopingen waar te nemen. Dit voorbeeld weegt ca. 1 kg, heeft een diameter van 9,3-12,5 cm en een dikte van 7 cm. Het gemiddelde gewicht van de grootste smeedhaardbodems is ca. 1,3 kg, met een gemiddelde diameter van 12 cm en dikte van 7 cm. Een kleiner exemplaar (V175-1, S591, Fig. 6.31) weegt 814 g, en heeft een diameter van 10-10,5 cm en een dikte van 5,5 cm. De slak is eveneens bedekt met een redelijk dikke laag sediment of zandig ijzeroxide. V187-5 (S588, Fig. 6.32) betreft dan weer een kleiner fragment met slechts een dunne zandige korstlaag. Hierdoor zijn de afgeronde vormen en de homogene, compacte materie duidelijker zichtbaar.

Tot de categorie van smeedhaardbodems behoren ook enkele dikke blokken ijzerslakken met een schijnbaar plano-convexe vorm, maar waarbij vrijwel niets van de eigenlijke slakkenmaterie waar te nemen is ten gevolge van dikke laag secundaire corrosieproducten (vb. V121-1b, Fig. 6.33). Van dit type compacte smeedhaardbodem werden vier exemplaren (stalen V121-1-1, V122-1-1, 124-1-1, V187-5-1) doorsneden voor staalname. Op basis van de doorsnedes kunnen we staal V124-1-1 meteen onderscheiden van de andere drie stukken. De doorsnede (Fig. 6.29) toont een compacte en relatief homogene materie met een kristallijne structuur die ook met het blote oog zichtbaar is. In de doorsnede is een duidelijke gelaagdheid waar te nemen, namelijk schakeringen in de donkere grijsbruine kleur die mogelijk te verklaren zijn door het aandeel van silica of calcium. Deze gelaagdheid wordt benadrukt door de aanwezigheid van lagen of zones met duidelijke waarneembare partikels van calcium of silica. Deze nemen sterk toe in de bovenste helft van het fragment en langs de randen waar zich resten aardewerk bevinden. Centraal in de doorsnede bevinden zich enkele grote luchtbellen, maar verder blijft de porositeit eerder beperkt tot de randen van de lagen. De gelaagdheid op de doorsnede wijst op een smeedactiviteit waarbij de vorming van de ijzerslak geen continuïteit kende. De overige drie slakken tonen veel meer poreuze doorsnedes (stalen V121-1b, Fig. 6.33; V122-1a, Fig. 6.34 & V187-5, Fig. 6.32). De poreuze grijze materie vertoont onregelmatige schakeringen en zones met corrosie, maar zonder gelaagdheid. Slakken V121-1b en V122-1a worden gekenmerkt door een dikke roestkleurige korstlaag en een gecorrodeerd oppervlak. Deze corrosie lijkt de poreuze materie binnen te dringen. Bij slak V187-5 lijkt de korstlaag van de corrosie eerder beperkt. In twee fragmenten (stalen V121-1b & V187-5) werden ook houtskoolinclusies waargenomen.



Fig. 6.29: Compacte smeedhaardbodem V124-1-1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links midden), zijaanzicht 1 (rechts boven), zijaanzicht 2 (rechts midden) en doorsnede (onderaan).

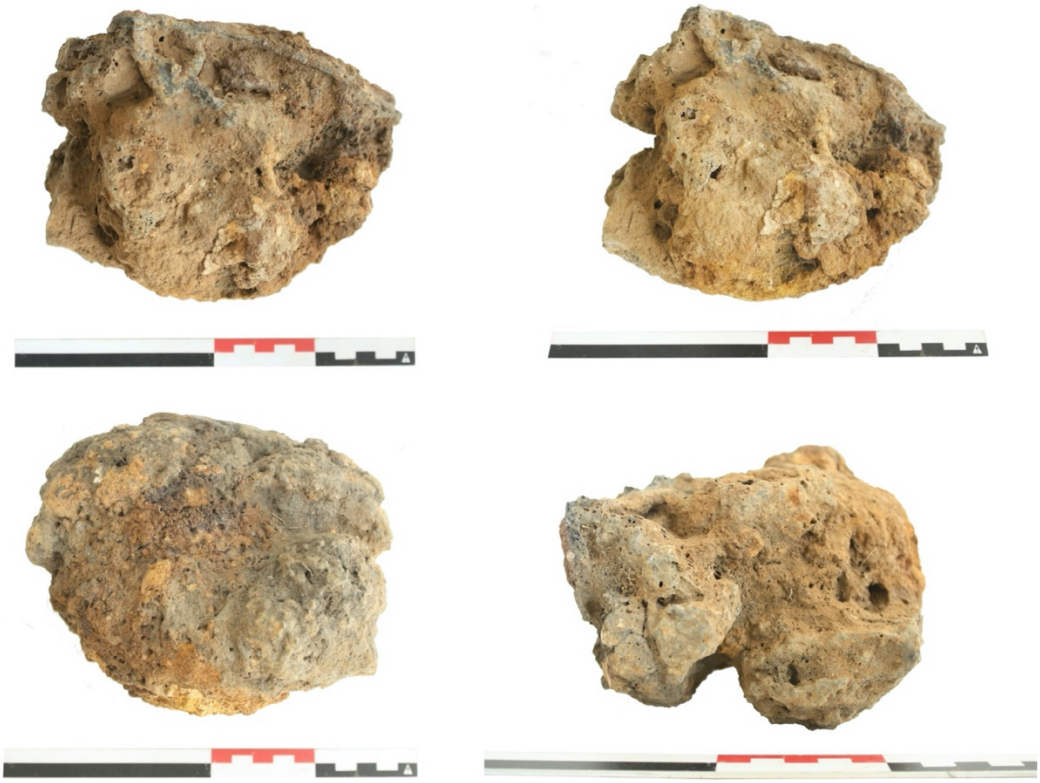


Fig. 6.30: Compacte smeedhaardbodem V121-1a, S279: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), diagonaal aanzicht (rechts boven), zijaanzicht met resten aardewerk langs de linker rand (rechts onder).

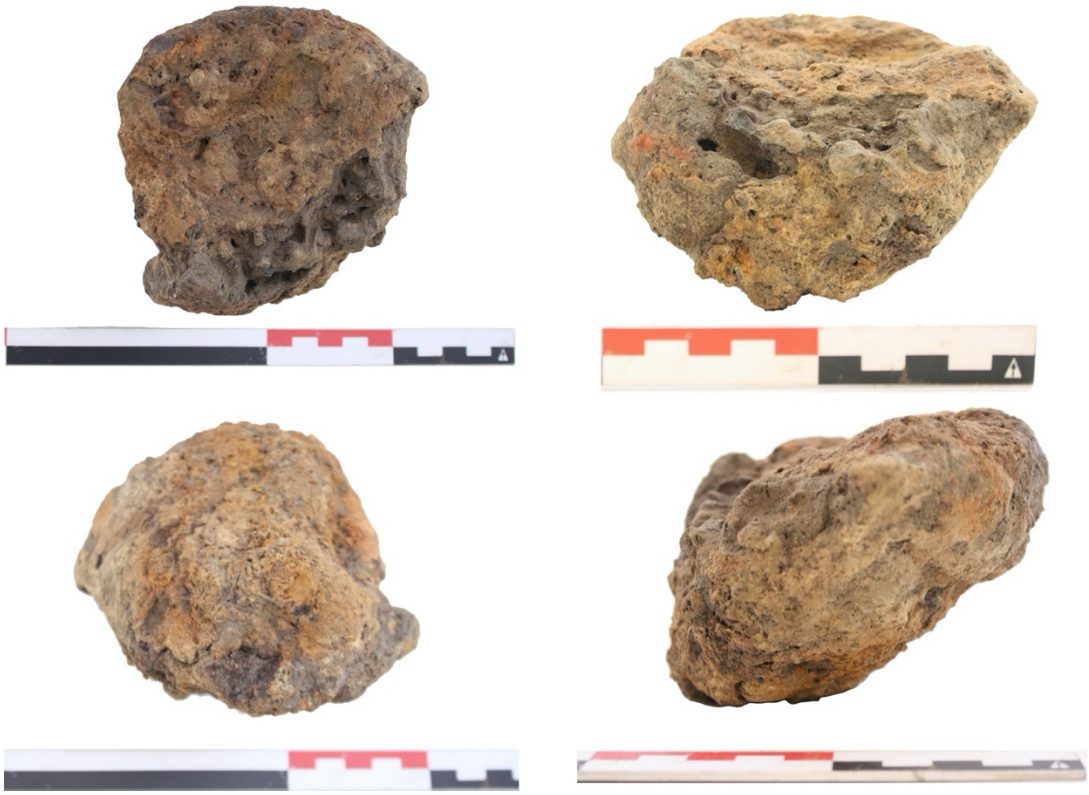


Fig. 6.31: Compacte smeedhaardbodem V175-1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht 1 (rechts boven) en zijaanzicht 2 (rechts onder).



Fig. 6.32: Compacte smeedhaardbodem V187-5: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht 1 (rechts boven), zijaanzicht 2 (rechts onder) en doorsnede (onderaan).



Fig. 6.33: Compacte smeedhaardbodem V121-1b: diagonaal aanzicht (links) en doorsnede (rechts).



Fig. 6.34: Compacte smeedhaardbodem V122-1a: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links midden), zijaanzicht 1 (rechts boven), zijaanzicht 2 met aardewerk (rechts midden) en doorsnede (onderaan).

Tot de categorie van **knobbelige plano-convexe ijzerslakken** werden 13 exemplaren en fragmenten gerekend, met een totaalgewicht van ca. 5,8 kg. Ze zijn doorgaans wat kleiner in omvang en vaak nogal onregelmatig, maar beschikken toch over een overwegend plano-convex vorm. De relatief platte bovenzijde vertoont een golvend of knobbelig oppervlak en de bolvormige onderzijde heeft een uitgesproken knobbelig of globulaire textuur, wat ook omschreven kunnen worden als onregelmatige vloeiingen. Op de onderzijde zijn eventueel afdrukken van houtskool zichtbaar. Occasioneel is één zijde afgevlakt en bedekt met resten aardewerk. Het grote verschil met voorgaande smeedhaardbodems is de afwezigheid van de uitgesproken laag sediment of zanderig ijzeroxide. Het zwartgrijze slakkenmateriaal is duidelijk zichtbaar en toont geregeld rood-paarse verkleuringen. De materie zelf oogt sterk homogeen, maar de licht poreuze en knobbelige/globulaire structuur gaat gepaard met de aanwezigheid van grotere luchtbellen. Er zijn eveneens zones aanwezig met verglaasde brandstofasse. Corrosie beperkt zich tot roestige verkleuringen van de materie en hier en daar een dunne korstlaag.
Het gemiddelde gewicht van de grootste exemplaren bedraagt 633 g. De gemiddelde diameter en dikte bedraagt respectievelijk 12 cm en 5 cm. Het zwaarste voorbeeld van de knobbelige plano-convexe ijzerslak (V165-2, S588, Fig. 6.35) weegt 967 g, met een diameter van 11-13,5 cm en een doorsnede (dikte) van 4,5 cm. Dit fragment toont duidelijk de onregelmatige vorm die dergelijke knobbelige smeedhaardbodems kenmerkt. Een ander gelijkaardig exemplaar betreft V126-1 (S279, Fig. 6.36).



Fig. 6.35: Knobbelige plano-convexe ijzerslak V165-2: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.36: Knobbelige plano-convexe ijzerslak V126-1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).

Een aanzienlijke hoeveelheid (15 fragmenten, ca. 5,5 kg) van de ijzerslakken en fragmenten vertoont een plano-convexe vorm. De combinatie van de compacte materie, al dan niet met een dikke laag sediment of zandig ijzeroxide, en een zeer knobbelige onderzijde maakt het echter moeilijk om deze in een goed gedefinieerde groep te plaatsen. Een typisch exemplaar is V134-1 (S279, Fig. 6.37), een plano-convexe ijzerslak met een gewicht van ca. 1,3 kg, een breedte van 13 cm en een dikte van 6,5 cm. De vlakke bovenzijde is licht golvend en de corrosie beperkt zich tot een verhoogde porositeit van de materie, maar de onderzijde is zeer knobbelig met een laag roestkleurig sediment en organische inclusies. Deze ijzerslak heeft eveneens een vlakke zijde met opstaande rand, resten aardewerk en verglaasde kalkrijke zones. Het is duidelijk dat deze smeedhaardbodem tegen de haardwand aan gevormd werd.



Fig. 6.37: Plano-convexe ijzerslak V134-1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), diagonaal aanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (rechts onder).

Een opmerkelijk fragment is V122-1b (S279, Fig. 6.38). Het beschikt over een concaaf-convexe vorm met een vrijwel vlak oppervlak. Er is sprake van een paarsrode verkleuring en een knobbelige onderzijde met afgeronde randen (bij niet gefragmenteerd materiaal). Langs de onderzijde is er kalkrijke materie waar te nemen. Door het bijna glanzende oppervlak doet dit fragment sterk denken aan de vloeislakken, maar dan gestold in een concaaf-convexe vorm. De verse breuken tonen een redelijk poreuze materie. Het fragment werd eveneens doorgezaagd voor staalname. Het profiel toont een compacte en relatief homogene materie met een kristallijne structuur die ook met het blote oog zichtbaar is. Er is een zekere schakering in de grijswaarden aanwezig. De materie is licht poreus, met een toename van deze porositeit naar de onderen toe. Bij de inzinking op de bovenzijde lijkt er zich meer donkere en gecorrodeerde materie te hebben verzameld. Mogelijk zijn dit fragmentjes hamerslak. Ondanks de gelijkenissen met de vloeislakken is dit artefact met hoge graad van zekerheid toch een smeedslak, of smeedhaardbodem.

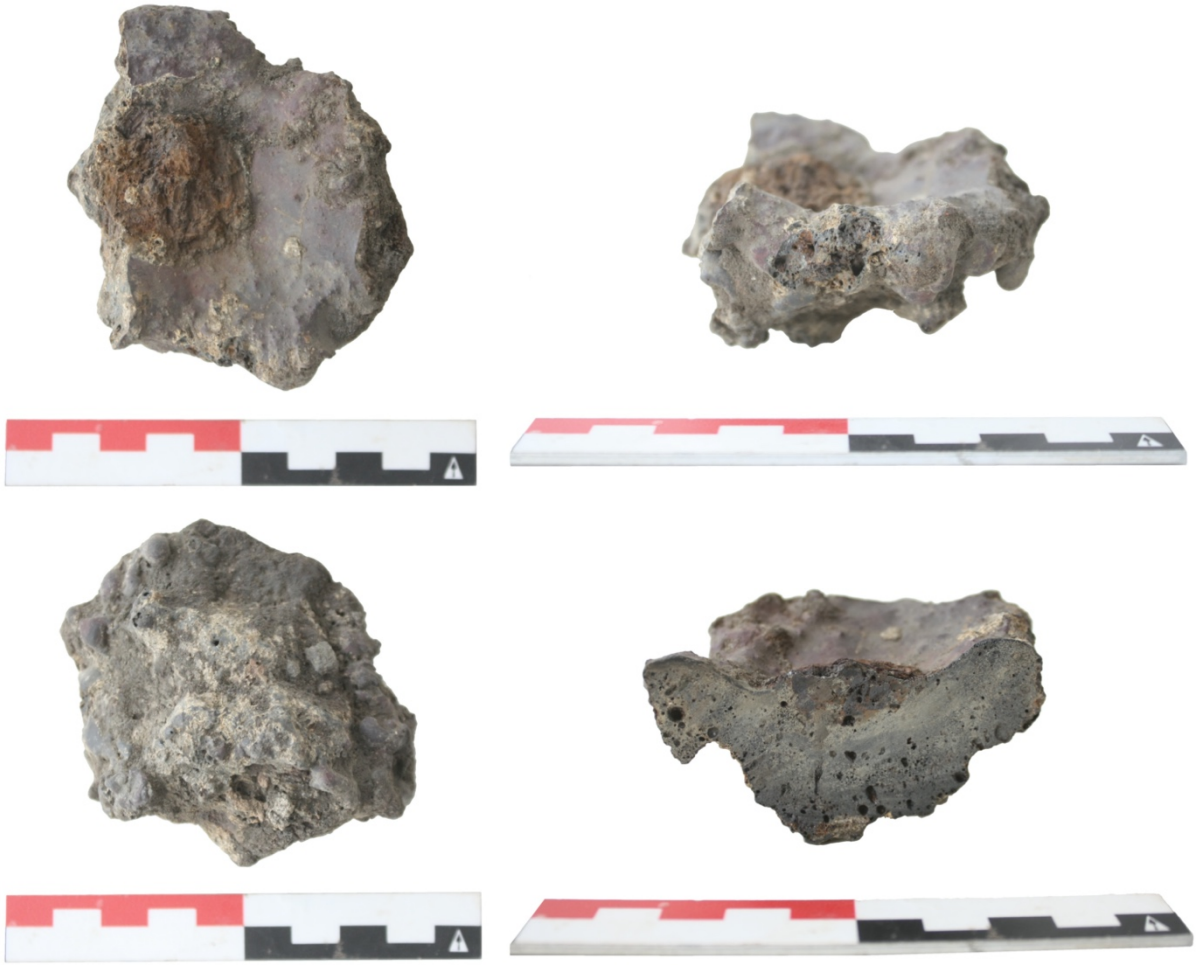


Fig. 6.38: Concaaf-convex fragment V122-1b : bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

In de groep van plano-convexe ijzerslakken bevinden zich ook silica- of kalkrijke exemplaren met bolvormig opgehoogde randen en verglaasde zones (bijvoorbeeld V124-2a, Fig. 6.39; V175-3a, Fig. 6.40). Ze onderscheiden zich van de andere fragmenten door de lichte kleur en het kalkachtig uitzicht van de materie, wat mogelijk wijst op een verhoogde concentratie silica of calcium. De convexe onderzijde is geregeld bedekt met een kalkrijke korstlaag. De doorsnede van slak V175-3a toont ook een lichter gekleurde materie door de hogere aanwezigheid van kalkrijke materialen, wellicht afkomstig van de brandstofasse. Het aandeel van de kalkrijke materie in deze exemplaren kan echter danig verschillen. De doorsnede van V124-2a toont een aanzienlijk donkerdere materie dat overeenstemt met de eerder besproken smeedhaarbodems. Er is wel sprake van lichtere kalkrijke zones onderaan evenals enkele houtkoolinclusies. Het fragment heeft eveneens een vlakke rand met silica-partikels in het slakkenmateriaal en resten aardewerk op het oppervlak. Opvallend is de inclusie van metallisch ijzer centraal in de doorsnede, nabij een luchtbel. Het is niet onwaarschijnlijk dat dergelijke varianten van plano-convexe ijzerslakken zich onderaan in de smeedhaard vormden en zo meer brandstofasse hebben opgenomen, maar in essentie het resultaat zijn van dezelfde processen bij de vorming van de smeedhaardbodems.



Fig. 6.39: Plano-convexe ijzerslak V124-2a: zijaanzicht (links) en doorsnede (rechts).

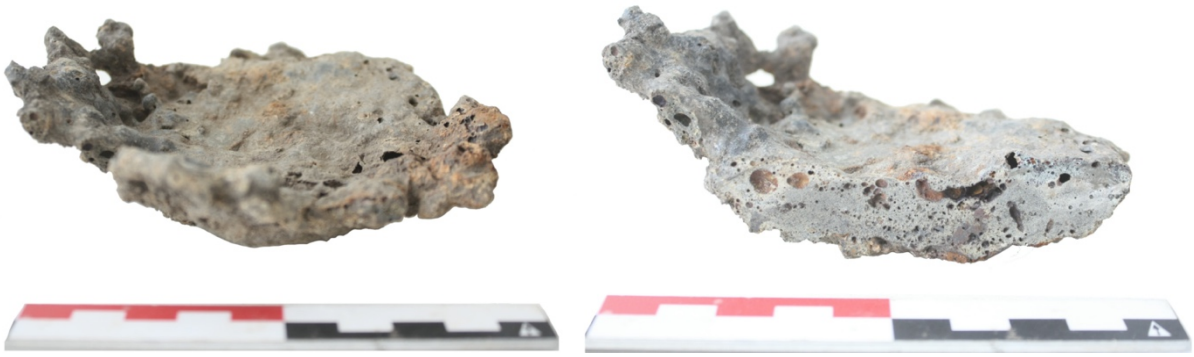


Fig. 6.40: Plano-convexe ijzerslak V175-3a: zijaanzicht (links) en doorsnede (rechts).

Deze verschillende varianten van plano-convexe ijzerslakken werden voornamelijk verzameld uit kuil S279 en andere nabijgelegen sporen in de oostelijke zone van de opgraving. Er valt geen duidelijk onderscheid te maken in spreiding tussen de klassieke smeedhaardbodem en het knobbelige subtype, met een eventuele uitzondering van spoor S287 (enkel compacte smeedhaardbodems) en spoor S588 (enkel fragmenten knobbelige plano-convexe ijzerslakken).

Knobbelige ijzerslakken

In combinatie met de smeedhaardbodems en de overige plano-convexe ijzerslakken werden er vele fragmenten van “knobbelige” ijzerslakken onderscheiden (ca. 90 fragmenten, ca. 9,5 kg). Ze zijn doorgaans eerder onregelmatig van vorm door de sterk knobbelige of globulaire textuur langs vrijwel alle zijden van de brokken en fragmenten (bijvoorbeeld V123, Fig. 6.41; V187-3, Fig. 6.42; V196, Fig. 6.43). De zwartgrijze materie is geregeld bedekt met een donkere bruingrijze zandige korstlaag met roestige verkleuringen, maar vertoont occasioneel een licht glanzend oppervlak. De fragmenten vertonen zo wel eens gelijkenissen met onregelmatige vloeiingen. Geregeld zijn er zones met verglaasde brandstofasse waar te nemen bij deze knobbelige ijzerslakken. Er zijn voorbeelden met een mogelijke plano-convexe vorm en bij enkele fragmenten zijn er resten aardewerk behouden, al dan niet op een platte zijde. Deze exemplaren vertonen dan weer grote gelijkenissen met de knobbelige smeedhaardbodems en kunnen als dusdanig gedetermineerd worden. Het is bijgevolg niet altijd eenvoudig om een onderscheid te maken met eventuele fragmenten van knobbelige

smeedhaardbodems, maar vaak gaat het echter om redelijk kleine brokken en fragmenten met zeer uiteenlopende afmetingen. Om de diversiteit binnen deze “knobbelige” ijzerslakken aan te tonen, worden hieronder enkele voorbeelden afzonderlijk besproken.

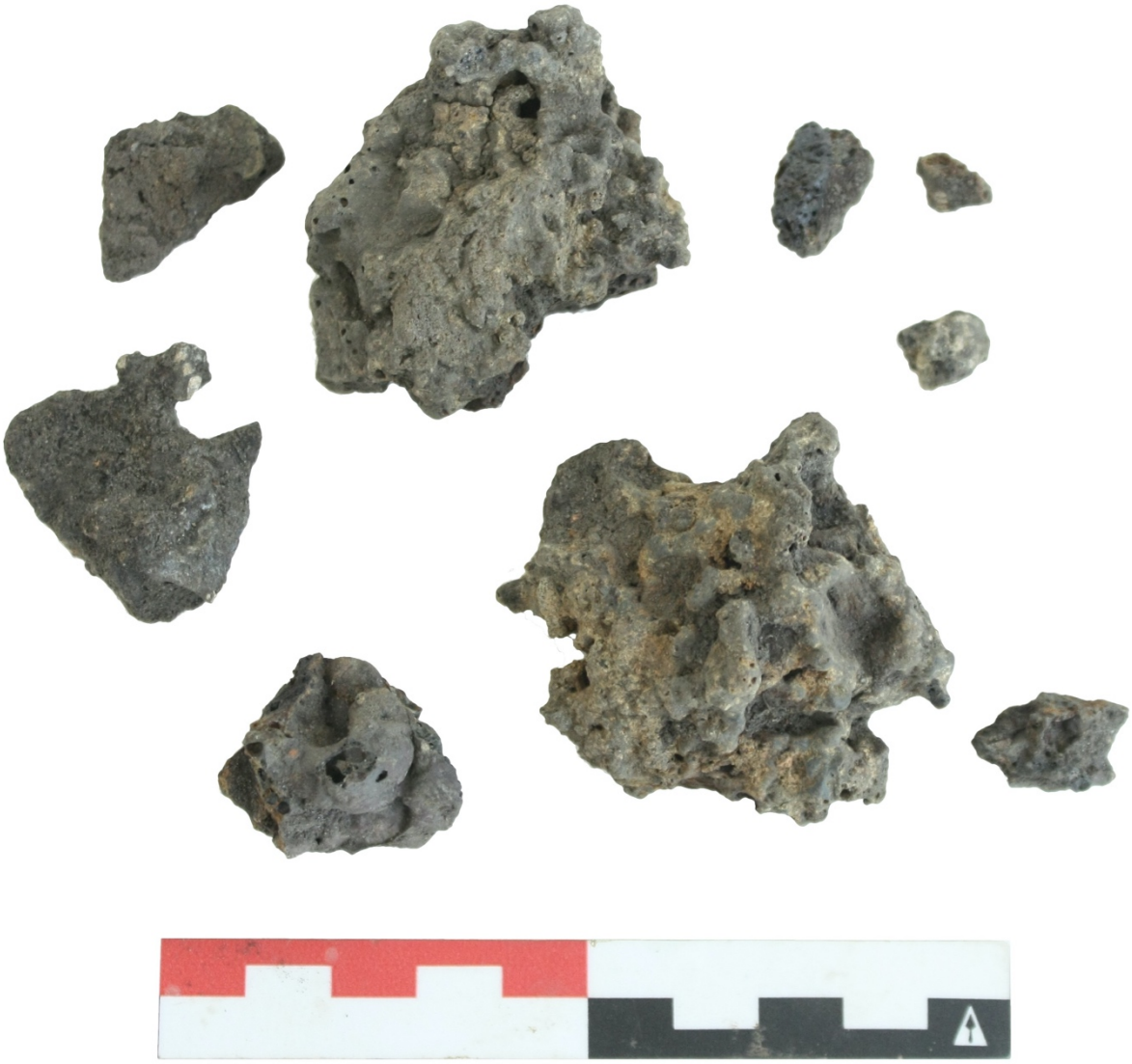


Fig. 6.41: “Knobbelige” ijzerslakken V123.

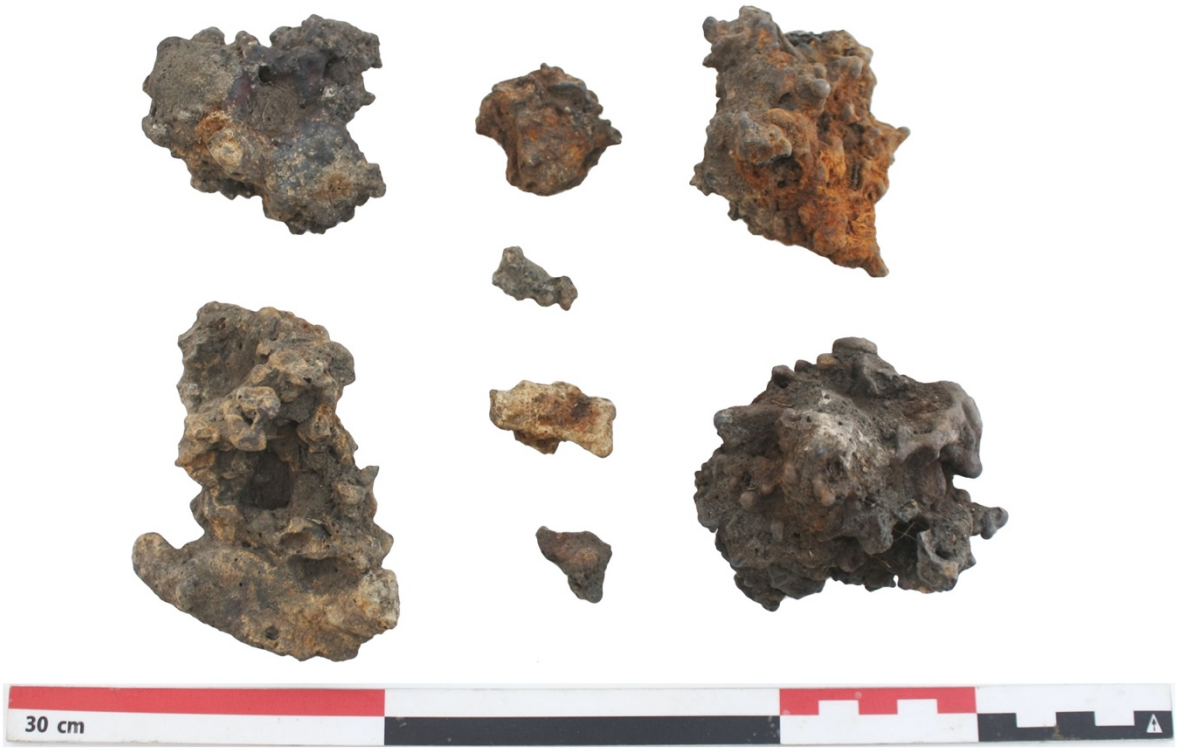


Fig. 6.42: “Knobbelige” ijzerslakken V187-3.



Fig. 6.43: “Knobbelige” ijzerslakken V196.

Het grootste exemplaar (V126-2, S279, Fig. 6.44) weegt 734 g en heeft een maximale lengte van 17 cm, een breedte van 9 cm en een dikte van 5 cm. Het oppervlak vertoont een opvallend knobbelige of globulaire textuur. Langs één zijde is de materie afgevlakt en bedekt met een zandige korstlaag en eventueel wat resten aardewerk. De doorsnede van dit voorbeeld vertoont een eerder heterogene

materie met silica- en/of kalkrijke zones, partikels en inclusies, alsook mogelijk metallisch ijzer. Naar het knobbelig oppervlak toe wordt de ijzerslak homogener in samenstelling en donkerder van kleur. In de doorsnede is er toch een zekere porositeit waar te nemen, die toeneemt naar de buitenzijden, met enkele grotere luchtbellen.

Fragment V129-1a (S279, Fig. 6.45) heeft bovenaan een hevig knobbelige textuur met een glanzend oppervlak dat sterk doet denken aan het uitzicht van een vloeislak. De onderzijde beschikt niet echt over een convexe vorm, maar is eerder V- of U-vormig. Eén van deze zijden is redelijk vlak en bedekt met een korstlaag. De andere zijde heeft een knobbelige textuur. Het fragment weegt zo'n 147 g en vertoont afmetingen van 7 cm x 5 cm x 3,5 cm. De doorsnede van dit fragment toont dan weer een eerder homogene, maar poreuze materie met houtskoolinclusies en een toename in porositeit en calcium naar de vlakke zijde van het fragment.

Het exemplaar V187-3b (S588, Fig. 6.46) is zeer gelijkaardig, met een knobbelig/globulair oppervlak bovenaan en een knobbelige onderzijde. Het fragment heeft een concaaf-convexe vorm met een centrale inzinking. Langs één zijde is de rand zichtbaar afgerond. De andere zijden zijn eerder onregelmatig en knobbelig. Het fragment weegt 154 g en meet 8,9 cm bij 6,5 cm. De dikte varieert van enkele millimeters tot maximaal 3 cm. Het materiaal oogt opnieuw erg homogeen in samenstelling, met een donkere grijszwarte kleurtextuur. Lokaal is sprake van een glanzend oppervlak, veelal bedekt door een zandige materie. Ook de doorsnede van dit fragment toont een eerder homogene maar licht kalk- of silicarijke en poreuze materie, met enkele grotere luchtbellen en houtskoolinclusies.

Fragment V129-1b (S279, Fig. 6.47) is eerder klein, maar valt op door een oppervlak met vloeitextuur. De materie oogt erg homogeen met een donkere grijszwarte kleur. De slak is een beetje glanzend en vertoont vrijwel geen corrosie en kan zo bijna worden gerekend tot de groep van vloeislakken. Het fragmentje weegt slechts 33 g en meet 4,3 cm x 3 cm x 1,3 cm. Ook de doorsnede van dit fragment vertoont de kenmerken van vloeislakken, i.e. een homogene licht poreuze materie met meerdere vloeiingen, die kunnen worden herkend door verschillen in de duidelijk begrensde grijswaarden. Het fragmentje op zich zou zonder twijfel geïnterpreteerd kunnen worden als een vloeislak, maar met dien verstande dat het volledige ensemble wordt gekenmerkt door een knobbelige karakter van vele smeedhaardbodems en andere fragmenten die zeker niet als vloeislakken gedetermineerd zijn.

Fragment V174-1 (S297, Fig. 6.48) vertoont een eerder onregelmatige vorm, met een eerder sterk golvend of globulair oppervlak bovenaan en een knobbelige onderzijde. Het fragment weegt 163 g en meet 8 cm x 4,5 cm x 4 cm. Het oppervlak is slechts beperkt zichtbaar door een roestkleurige zandige korstlaag, maar de zichtbare materie oogt eveneens donker grijszwart met hier en daar glanzende zones. De doorsnede van dit fragment toont echter een opvallend poreuze, maar overwegend homogene grijze materie met organische/houtskool-inclusies en corrosie. Deze doorsnede is heel erg gelijkaardig aan enkele van de compacte smeedhaardbodems die hierboven zijn besproken.



Fig. 6.44: “Knobbelige” ijzerslak V126-2: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links midden), breukvlak (rechts boven), zijaanzicht (rechts midden) en doorsnede (onderaan).

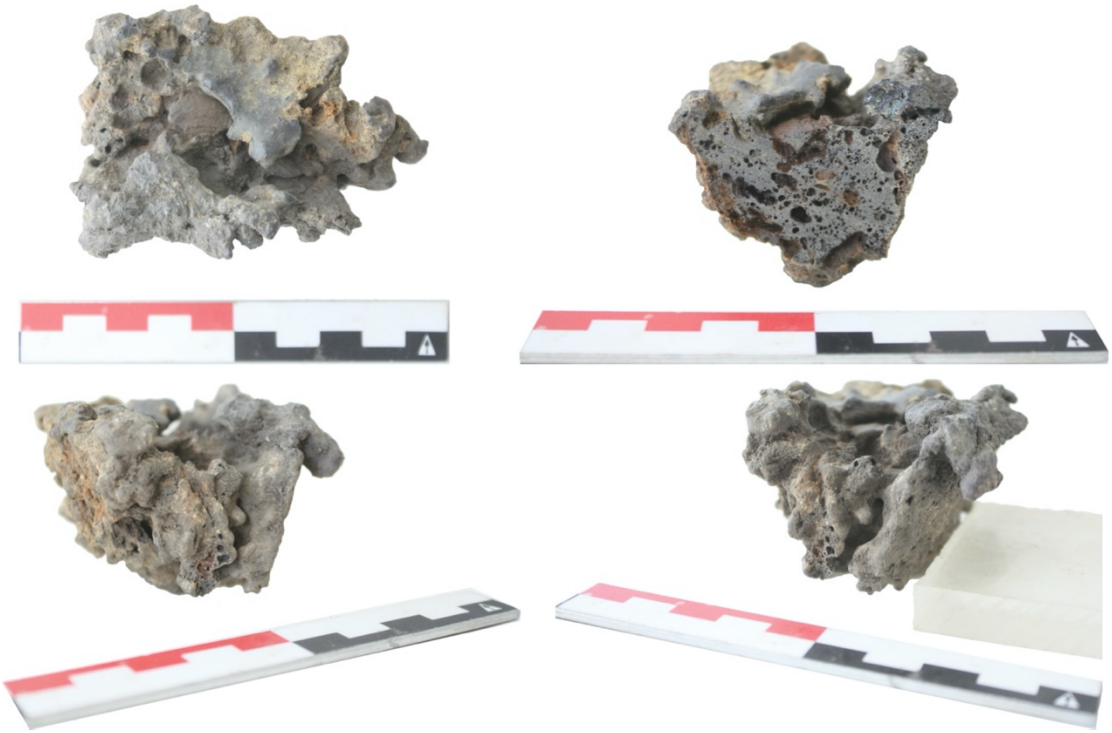


Fig. 6.45: “Knobbelige” ijzerslak V129-1a: bovenaanzicht (links boven), doorsnede (rechts boven), zijaanzicht 2 (links onder) en zijkant 1 (rechts onder).

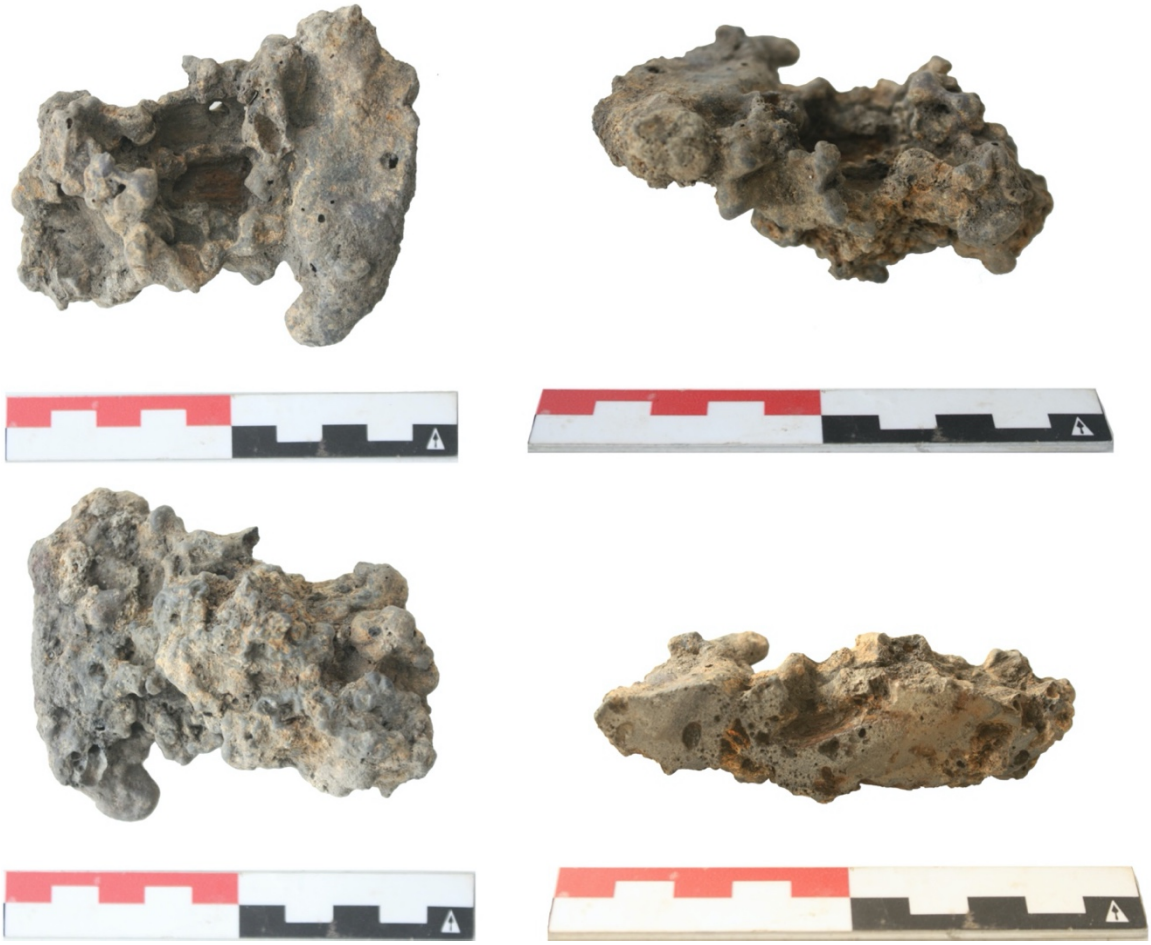


Fig. 6.46: “Knobbelige” ijzerslak V187-3b: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).



Fig. 6.47: “Knobbelige” ijzerslak V129-1b: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en doorsnede (onderaan).



Fig. 6.48: “Knobbelige” ijzerslak V174-1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

Vele onregelmatige knobbelige ijzerslakken vertonen dus morfologische kenmerken die overeenstemmen met deze van vloeislakken. Het gaat dan voornamelijk om de (schijnbaar) homogene donkere grijszwarte materie met een knobbelige textuur en occasioneel een glanzend oppervlak, wat de vloeitextuur evenaart. De doorsnedes tonen echter zelden een materie die beantwoordt aan de kenmerken van vloeislakken, met name een sterke compactie, lage porositeit en duidelijke vloeilagen. Het is bijgevolg moeilijk om deze ijzerslakken ondubbelzinnig te determineren als vloeislakken, wat in het verleden wel eens gebeurde. We dienen ook onze aandacht te vestigen op het feit dat vele van de smeedhaardbodems delen hebben met morfologische kenmerken die sterk gelijken op deze knobbelige textuur en occasioneel zelfs vloeiingen in het oppervlak lijken te tonen. Ook de calcium- of silicarijke plano-convexe ijzerslakken werden door de uiterst globulaire en knobbelige vormen initieel samen geplaatst met deze “knobbelige” ijzerslakken, ook omdat vele van deze “knobbelige” ijzerslakken een lichtere materie tonen, mogelijk rijk in calcium of silica. Door de duidelijk plano-convexe vorm werden deze fragmenten echter als smeedhaardbodems geïnterpreteerd.

Deze knobbelige ijzerslakken werden net zoals de plano-convexe ijzerslakken voornamelijk aangetroffen in kuil S279, maar een groot aandeel van dit type werd ook verzameld uit spoor S588. In deze context zijn enkel knobbelige plano-convexe ijzerslakken aangetroffen en geen compacte smeedhaardbodems. In spoor S591 werd, in combinatie met enkele knobbelige plano-convexe ijzerslakken, een gefragmenteerde maar grote compacte smeedhaardbodem (V175-1) aangetroffen. Door de diversiteit van de fragmenten binnen deze groep van onregelmatige knobbelige ijzerslakken en de overlap van de morfologische kenmerken met deze van de knobbelige plano-convexe ijzerslakken (die als een type smeedhaardbodem geïdentificeerd worden) is het moeilijk om deze knobbelige ijzerslakken met enige zekerheid toe te schrijven aan andere technologische activiteiten. De grote hoeveelheid aan knobbelige ijzerslakken die niet met overtuiging als smeedhaardbodems benoemd kunnen worden, doet vermoeden dat er toch andere technologische keuzes werden gemaakt, die in een andere vorm van ijzerslakken resulteerden. Deze veronderstelling wordt mogelijk ondersteund door de ruimtelijke spreiding van deze knobbelige ijzerslakken en de knobbelige plano-convexe slakken, die zich in enkele voorbeelden toch spatiaal lijken te onderscheiden van de compacte smeedhaardbodems.

Onregelmatige & non-diagnostische fragmenten

Een dertigtal fragmenten (ca. 1,9 kg) ijzerslak werden omwille van hun sterk fragmentarisch karakter of dikke laag corrosieproducten geclassificeerd als onbepaald. Een opvallend exemplaar is een grote hevige gecorrodeerde brok van 1,2 kg die mogelijk bestaat uit ijzerslak (V170-1, S590, Fig. 6.49). Door de dikke korstlaag is het vrijwel onmogelijk om kenmerken te onderscheiden die toegewezen kunnen worden aan een bepaald type ijzerslak. Het is zelfs moeilijk om met zekerheid uit te sluiten dat het niet gaat om een brok ijzeroer of andersoortig erts. De overige fragmenten in deze groep zijn overwegend onregelmatig van vorm of te gefragmenteerd. Het gebrek aan duidelijke morfologische kenmerken laat niet toe om deze met zekerheid toe te schrijven aan een bepaald type ijzerslak. Vaak gaat het wel om eerder knobbelige exemplaren. Ook zijn er enkele fragmenten die mogelijk afkomstig zijn van smeedhaardbodems.



Fig. 6.49: Non-diagnostisch fragment V170.

Technisch aardewerk

In totaal konden ca. 73 fragmenten (ca. 2,8 kg) aardewerk onderscheiden worden, die aan hoge temperaturen blootgesteld werden. De binnenzijde vertoont steevast een poreus versinterd of hevig verglaasd oppervlak, al dan niet met een laag verglaasde brandstofasseslak. Het oppervlak van de fragmenten is steeds gefragmenteerd. Deze eigenschap zou kunnen aangeven dat de fragmenten aardewerk afkomstig zijn van de smeedhaard en niet van een smeltoven. De verglaasde binnenzijden hebben door de aanwezigheid van de verglaasde brandstofasse een eerder witte kleur die nu en dan zelfs een groene kleur kan aannemen, afkomstig van het ijzeroxide. Vele fragmenten vertonen ook een laag ijzerslak aan de verglaasde binnenzijde, die occasioneel erg dik kan zijn tot ca. 1 cm. Zo zijn er ook fragmenten waarbij de ijzerslak zich heeft opgehoopt tot een kleine knobbelige massa van enkele centimeters dik, aan de binnenzijde van het aardewerk fragment (vb. V187-2, S588, Fig. 6.50).

Door de hoge fragmentatiegraad van de stukken is een duidelijke vorm niet te onderscheiden. Het grootste fragment zonder ijzerslak meet 12,5 cm x 7,5 cm x 2,5 cm dik en weegt 84 g (V175-4, S591, Fig. 6.51). Dit fragment werd gevonden in een context waarin plano-convexe ijzerslakken van het knobbelige type en fragmenten van knobbelige ijzerslakken aangetroffen werden. Beiden konden niet met hoge graad van zekerheid aan smeedactiviteiten toegeschreven worden, want voor de knobbelige ijzerslakken bestaat de mogelijkheid dat deze afkomstig zijn van primaire smeltprocessen. Het is dus niet onwaarschijnlijk dat fragment V175-4 een onderdeel is van een smeltoven. Dit zou de hoge graad van verglazing kunnen verklaren. In spoor S591 werden echter ook een groot exemplaar van een plano-convexe smeedhaardbodem en enkele fragmenten plano-convexe en redelijk globulaire ijzerslakken met resten aardewerk tot 2 cm dik aangetroffen. De mogelijkheid blijft dus bestaan dat dit fragment technisch aardewerk geïnterpreteerd kan worden als resten van de haardbekleding. Op basis van dit fragment en de ijzerslakken met resten aardewerk kunnen we stellen dat haard bekleed werd met een laag aardewerk tot 2 cm dik, of meer.



Fig. 6.50: Technisch aardewerk V187-2: binnenzijde (links bovenaan), buitenzijde met aardewerk (rechts bovenaan) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.51: Technisch aardewerk V175-4: binnenzijde (links), buitenzijde (rechts).

Ander metallurgisch materiaal

In Grobbendonk zijn er ook een aantal fragmenten versinterde en verglaasde brandstofasse aangetroffen (8 fragmenten, ca. 380 g). Deze zijn onregelmatig of plat van vorm en bevatten geregeld ook wat ijzerslak. Op basis van vormelijke kenmerken zijn de silica/calciumrijke plano-convexe ijzerslakken gelijkaardig aan de brandstofasseslakken, die doorgaans ook beschikken over een plano-convexe vorm en hevig verglaasd zijn. Het feitelijk onderscheid kan worden gemaakt op basis van het gewicht, de lichtgrijze kleur en de grotere porositeit van de materie.

Er werden ook een twintigtal stukjes (ca. 133 g) sterk gecorrodeerd ijzer aangetroffen. Het gaat om onregelmatige brokjes en fragmentjes die niet aan een voorwerp toegeschreven kunnen worden.

Bij de opgraving werd ook veertien fragmentjes en brokken (ca. 11 kg) ijzeroer ingezameld en geclassificeerd als metallurgisch materiaal. Het grootste exemplaar weegt zo'n 3,9 kg. Het is moeilijk te stellen of deze brokken effectief gediend hebben als ijzererts voor de metallurgische activiteiten die mogelijk op deze site hebben plaatsgevonden. Doorgaans wordt kwalitatief ijzererts niet verwacht op een productiesite, aangezien dit ten volle werd opgebruikt tijdens de metallurgische activiteiten. Er zijn overigens duidelijke aanwijzingen dat ijzeroer op deze site gebruikt werd als funderingsmateriaal.

6.2.1.4. Microstructurele en chemische analyse van de ijzerslakken

Chemische samenstelling (pXRF)

Vijftien ijzerslakken werden geselecteerd voor verder onderzoek en doormidden gezaagd. Deze selectie betreft zes smeedhaardbodems, zes knobbelige ijzerslakken, een fragmentje vloeislak en twee kalkrijke plano-convexe ijzerslakken. De vijftien doorsnedes werden geanalyseerd aan de hand van pXRF. Bij de analyses van Grobbendonk werden we geconfronteerd met uitzonderlijk lage waarden voor aluminium voor enkele fragmenten. Bij verschillende metingen werd aluminium in eerste instantie zelfs niet gedetecteerd. Bij een tweede analyse van dezelfde fragmenten werd aluminium wel gedetecteerd en schoten de waarden de lucht in, met als gevolg dat er ook een verandering waargenomen kon worden in de metingen voor de andere elementen.

Op het eerste gezicht waren er geen grote verschillen in de chemische samenstelling van de verschillende *case studies* waarneembaar. De metingen van de primaire componenten van de ijzerslak, i.e. ijzer, silica en aluminium, vertonen gelijkaardige waarden. In de selectie van Grobbendonk is er wel een duidelijke correlatie tussen de primaire elementen in de samenstelling van de metaalslakken, i.e. silica, aluminium en ijzer. Bij een toename van aluminium of silica neemt het ijzer af. Dit betekent mogelijk dat silica, aluminium en ijzer in de juiste verhouding aanwezig waren om fayaliet te vormen, de hoofdcomponent van metaalslakken. De aanwezigheid van ijzer in een metaalslak wijst dus niet noodzakelijk op een inefficiënt proces, aangezien ijzer nodig is om het slakkenmateriaal te vormen. In het geval van smeltslakken kunnen we wel stellen dat een lagere hoeveelheid aan ijzer kan wijzen op een zekere efficiëntie bij het productieproces. Bij de primaire reductieprocessen zal het overschot aan ijzer behouden worden als ijzeroxide in de ijzerslak, of onder goede omstandigheden reduceren tot metallisch ijzer en zich in de mate van het mogelijke van de metaalslak scheiden. Bij secundaire smeedprocessen zal een goede verhouding tussen silica, aluminium en ijzer tot een goed vloeiende slak resulteren, die gemakkelijk uit het metallisch ijzer gehamerd kan worden. Een eventueel overschot aan ijzer zal in smeedslakken voorkomen als ijzeroxide. Voor het element mangaan kunnen we opnieuw vaststellen dat dit toeneemt in relatie tot de toename van ijzer. We kunnen bijgevolg stellen dat mangaan mogelijk een component is van het gebruikte ijzererts, wat zeer waarschijnlijk ijzeroer was. Mangaan is immers een veelvoorkomend element in ijzeroer (van Enk 2016, 50).

Jammer genoeg is er geen patroon waar te nemen in de chemische samenstelling van de fragmenten, gerelateerd aan de verschillende types metaalslakken, die bij de macroscopische en microscopische

studie onderscheiden konden worden. De knobbelige slakken en smeedhaardbodems vertonen een zekere overlap, en beide types bevatten ook uitschieters voor bepaalde elementen. Er zijn twee fragmenten die zich onderscheiden van de andere omwille van de zeer lage ijzerwaarden in combinatie met hoge metingen voor aluminium en silica, maar ook hogere hoeveelheden kalium, koper en nikkel. GR V126-1 (Fig. 6.36) werd gedetermineerd als een knobbelige ijzerslak en vertoont ook zeer hoge waarden voor calcium en kalium, terwijl GR V122-2 gedefinieerd werd als een fragment van een smeedhaardbodem. Beide fragmenten beschikken over resten aardewerk langs de randen. Deze zijn minder opvallend bij het knobbelige fragment V126-1. De doorsnedes van beide fragmenten tonen een heterogene samenstelling, met grote hoeveelheden aan silica- en/of kalkrijk materiaal. De verhoogde waarden voor silica en aluminium zijn mogelijk te relateren aan een interactie met het aardewerk. De verhoogde waarden voor calcium bij het ene fragment van het knobbelige type kan dan mogelijk weer gerelateerd worden aan de gebruikte brandstof.

Microstructurele samenstelling

Voor de microscopische studie werden stalen (ca. 1 cm^3) genomen van negen fragmenten. Van één fragment met meerdere smeedlagen, i.e. V124-1 (Fig. 6.29), werden twee stalen genomen, van een zone bovenaan en een zone onderaan in de doorsnede. De microstructuren van deze twee stalen zijn opnieuw een duidelijk voorbeeld van de klassieke variabiliteit binnen ijzerslakken. Zoals eerder aangehaald is variatie in zowel de chemische als microstructurele samenstelling van ijzerslakken geen abnormaliteit, maar zowel te verwachten bij de vergelijking van slakken onderling als binnen eenzelfde slak. De hoofdcomponenten van de microstructuur van ijzerslakken zijn steevast ijzersilicaten (doorgaans fayaliet, $2FeO.SiO_2$) ingebed in een glasachtige matrix (doorgaans anortiet, $CaAl_2Si_2O_8$), ijzeroxiden en al dan niet metallisch ijzer. Deze komen aan bod in zeer uiteenlopende hoeveelheden, samenstellingen en vormen dewelke afhankelijk zijn van enerzijds de chemische samenstelling van de ruwe materialen en anderzijds de productieomstandigheden zoals de temperatuur, reducerende condities en afkoelsnelheid. We kunnen in eerste instantie alvast opmerken dat, in vergelijking met de stalen van Borsbeek, deze van Grobbendonk gekenmerkt worden door lagere hoeveelheden ijzeroxiden waarbij ze zelden meer dan 50% van de microstructuur in beslag nemen. De ijzeroxiden hebben een zeer gespreide distributie en komen veel voor als clusters, in uiterst diverse formaten. Een ander opvallend gegeven is dat vele van de stalen een gelaagdheid vertonen in de microstructuur, gelijkend op deze van vloeislakken.

In de stalen van Grobbendonk kunnen ogenschijnlijk enkele microstructurele groepen onderscheiden worden, die gedeeltelijk gerelateerd kunnen worden aan de verschillende types ijzerslakken die op macroscopisch niveau waar te nemen zijn. Bij een eerste groep (LV22PD13 & LV22PD20) wordt de microstructuur grotendeels gekenmerkt door de opvallende aanwezigheid van ijzeroxiden, als grote stippen en dendritische structuren die occasioneel evolueren tot fijne dendrieten (wustiet). In andere delen van de stalen zijn de ijzeroxiden echter veel minder prominent aanwezig, voornamelijk als heel fijne dendritische of veer-achtige structuren gebonden aan de glasachtige matrix of verzonken in de ijzersilicaten. De ijzersilicaten nemen de overhand in relatie tot de matrix en komen voor als vierkantige kristallen van normale omvang, In de zones waar de ijzeroxiden minder aanwezig zijn evolueren deze tot eerder langwerpige kristallen. Beide fragmenten in deze groep werden op

macroscopisch niveau geïdentificeerd als compacte maar poreuze smeedhaardbodems, wat de grote hoeveelheid aan ijzeroxiden zou kunnen verklaren.

De stalen van de tweede groep (LV22PD17, LV22PD18, LV22PD21) vertonen ook een reguliere ijzersilicaat-glas-fase, net als bij de voorgaande groep, maar met een grotere variatie in de omvang en vormen van de ijzersilicaten, wat een gelaagd voorkomen van de microstructuur creëert. De ijzeroxiden zijn echter veel minder talrijk en verschijnen enkel als heel fijne dendritische of veer-achtige structuren gebonden aan de glasachtige matrix of verzonken in de ijzersilicaten. In enkele stalen (LV22PD17 & LV22PD18) komen ijzeroxiden ook geregeld voor als duidelijk afgebakende clusters. Deze stalen zijn afkomstig van fragmenten van het knobbelige type ijzerslak, dat onderscheiden werd bij de macroscopische studie. De variatie in de microstructuur in deze stalen, met een soort gelaagdheid zoals bij vloeislakken, doet ons vermoeden dat deze fragmenten het gevolg zijn van gelijkaardige metallurgische activiteiten, i.e. het primaire smelten van ijzererts. De lage hoeveelheid aan ijzeroxiden wekt de indruk dat er in ieder geval een gunstige verhouding bestond tussen ijzer en silica in de ovenvulling, en dat er dus voldoende hoge temperaturen en goed reducerende condities zijn bereikt en aangehouden voor een succesvolle reductie van de ijzeroxide. Dit resulteerde in de vorming van een vloeibare ijzerslak, na een succesvolle scheiding van het metallisch ijzer. Het knobbelig karakter kan zijn veroorzaakt doordat de ijzerslak moeilijk of niet uit de oven kon vloeien door de specifieke ovenopbouw, of misschien was de vloeibaarheid van de slak zelf ontoereikend om zelfstandig uit de oven te vloeien. We kunnen dus niet met zekerheid stellen hoe deze ijzerslakken in hun knobbelige en doorgaans eerder onregelmatige vesiculaire vorm afkoelden. We kunnen evenwel ook de mogelijkheid overwegen dat de ijzerslak als een eerder stroperige massa uit de ovenstructuur geharkt werd, wat kan leiden tot onregelmatige condities in de afkoeling van de materie. Dit is duidelijk zichtbaar in de variabele microstructuur.

Door het gebrek aan andere voorbeelden waarop een uitgebreide studie werd uitgevoerd is het echter vrijwel onmogelijk om de stalen van de knobbelige ijzerslakken met zekerheid toe te schrijven aan de praktijken die hierboven beschreven werden, maar een zeker onderscheid is zichtbaar met de stalen van de smeedhaardbodems waarbij we kunnen stellen dat ze niet van dezelfde activiteiten afkomstig zijn. Er zijn echter wel enkele stalen die tussen de twee microstructurele groepen lijken de schipperen, voornamelijk door het variabele voorkomen van ijzeroxiden. Zo is er een staal van een onregelmatige knobbelige ijzerslak (LV22PD12), waarvan de helft alsnog gekenmerkt wordt door de dominante aanwezigheid van ijzeroxiden. Een ander voorbeeld is staal LV22PD14, dewelke afkomstig is van een kleine compacte concaaf-convexe smeedhaardbodem met rode verkleuring. In tegenstelling tot de andere twee stalen van smeedhaardbodems wordt dit staal niet gekenmerkt door een hoge aanwezigheid van ijzeroxiden. In combinatie met de eerder beperkte aanwezigheid van ijzeroxiden zijn er in de knobbelige ijzerslakken en de bovengenoemde kleine smeedhaardbodem wel 10 tot 20 partikels van metallisch ijzer waar te nemen.

Opvallend zijn ook stalen LV22PD15 en LV22PD16, beide afkomstig van een zeer compacte smeedhaardbodem met een duidelijke gelaagdheid in de doorsnede. De microstructuur van deze twee stalen wordt voornamelijk gekenmerkt door een hoge graad van verglazing, te verklaren door de zeer hoge hoeveelheid aan silica en calcium. IJzeroxiden zijn slechts minimaal aanwezig, maar deze nemen toe in de zones waar de verglazing vermindert. Mogelijk was het aandeel silica te hoog om nog een overschot aan ijzer te behouden.

6.2.1.5 Samenvatting

Dit metallurgisch ensemble is zonder twijfel afkomstig van primaire (?) en secundaire ijzerproductie. Bij de eerste (macroscopische) studie kon ca. 63% van de ijzerslakken (totaal ca. 34 kg) onderscheiden worden als plano-convexe ijzerslakken bestaande uit compacte smeedhaardbodems en knobbelige exemplaren, die mogelijk ook als smeedhaardbodems gedetermineerd kunnen worden. Op enkele tientallen non-diagnostische fragmenten na werden de overige ijzerslakken gegroepeerd als het onbepaalde "knobbelige" type. Het feit dat naast de kenmerkende smeedhaardbodems een schijnbaar ander type ijzerslak voorkomt en de aanwezigheid van ijzeroer op de site brengen de mogelijkheid naar voren dat meerdere stappen in het productieproces, i.e. het smelten van het ijzererts én de raffinage van de ijzerwolf of het smeden van het ijzer, op deze site uitgevoerd werden. De primaire smeltactiviteiten zouden in dit geval hebben geresulteerd in dit type van knobbelige ijzerslakken die in verschillende aspecten gelijkenissen vertonen met de vloeislakken.

De chemische analyse heeft kunnen aantonen dat ijzeroer gebruikt werd. Dit is niet alleen een veelvoorkomende grondstof in de regio, maar werd ook bij de opgraving in grote aantallen aangetroffen. De brokken ijzeroer deden mogelijk ook dienst als funderingsmateriaal. Door het gebrek aan andere onderzochte voorbeelden blijft het een stuk giswerk, maar op basis van de knobbelige slakken kunnen we stellen dat het ijzeroer in een laagoven gereduceerd werden tot ijzer en fuseerde tot een ijzerwolf. Voldoende hoge temperaturen werden bereikt om een goed vloeibare slak te vormen die doorheen de ijzerwolf liep, maar deze was mogelijk niet voldoende vloeibaar om vervolgens op zichzelf uit de oven te vloeien, of de ovenstructuur was niet voorzien van een opening onderaan om dit mogelijk te maken. Het slakkenmateriaal werd bijgevolg mogelijk als een stroperige massa uit de oven geharkt, waarbij ook houtskool meegenomen werd en lucht niet kon ontsnappen en zo een vesiculaire knobbelige structuur met houtskoolinclusies creëerden. Enkele "vloeiingen" lijken te zijn gestold in een langwerpige of circulaire verdieping in de grond. Het is niet onwaarschijnlijk dat de aftapoven nog niet gekend was in de regio. Dit oventype verschijnt immers pas vanaf de Romeinse periode, maar net zo goed was de technologische kennis ontoereikend om een goed vloeibare slak te kunnen vormen. De constante verhouding tussen de primaire elementen in de chemische samenstelling van de ijzerslakken toont aan dat er weinig geëxperimenteerd werd met de toevoeging van andere mineralen om de smelttemperatuur naar beneden te halen of het proces op andere vlakken te bevorderen. Dit is wel waarneembaar bij de ijzerslakken uit de latere vroegmiddeleeuwse periode (zie verder). Toch suggereren de knobbelige ijzerslakken van Grobbendonk, indien zij geïnterpreteerd mogen worden als primaire smeltslakken, een vooruitgang in de technologische kennis van de (pre)historische ambachtsman. Deze zijn immers zeer waarschijnlijk het eerste bewijs van het succesvol smelten van het lokale ijzererts. Deze aanname is onder voorbehoud van de juiste determinatie van de plano-convexe ijzerslakken van Borsbeek.

Van de eigenlijke ovenstructuren zijn geen diagnostische fragmenten overgebleven. De fragmenten technisch aardewerk zijn moeilijk met zekerheid toe te schrijven aan onderdelen van de smeltoven of de bekleding van de smeedhaard. Op basis van de knobbelige ijzerslakken kunnen we kunnen echter stellen dat in deze ovenstructuur goed reducerende condities gecreëerd konden worden en voldoende hoge temperaturen bereikt konden worden, en dat de ijzerslak fysiek gescheiden kon worden van de ijzerwolf. Het is dus niet onwaarschijnlijk dat deze ovenstructuur gelijkaardig was aan de aftapoven, maar mogelijk was er geen holte voorzien voor het aftappen van de ijzerslak.

De plano-convexe ijzerslakken worden enerzijds als compacte smeedhaardbodems (ca. 8 kg) gedetermineerd, en anderzijds als knobbelige plano-convexe ijzerslakken (ca. 5,6 kg). Een grote hoeveelheid van de plano-convexe ijzerslakken omvat echter onregelmatige fragmenten en een combinatie van morfologische kenmerken die het moeilijk maken ze aan één van bovenstaande subtypes toe te schrijven. Deze morfologische verschillen en overeenkomsten kunnen eventueel toegeschreven worden aan de verschillende secundaire stappen in het productieproces, zoals de raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het geraffineerde ijzer tot een voorwerp. Dit blijft echter een complex gegeven in de studie van de ijzerslakken, waarbij de oplossing buiten de mogelijkheden van dit onderzoeksproject ligt. De diversiteit kan echter ook duiden op een zekere variatie in de handelingen en keuzes van de smid, of eventueel op de activiteit van meer dan één smid. De knobbelige plano-convexe ijzerslakken tonen dan weer heel wat morfologische overeenkomsten met de onregelmatige knobbelige slakken, zodat er een mogelijk verband met eventuele primaire productie wordt gelegd. De variabiliteit binnen deze groep van plano-convexe ijzerslakken en de vele fragmenten in het ensemble maakt het moeilijk te stellen hoeveel fragmenten concreet als smeedhaardbodems gedetermineerd kunnen worden. Zo is het ook vrijwel onmogelijk om een gemiddeld gewicht en afmeting te bepalen als referentiepunt, alsook om een allesomvattende beschrijving van de smeedhaardbodem uit te werken. Toch, de smeedhaard bestond mogelijk uit een eenvoudige opdieping in de grond, dewelke eventueel werd bekleed met een laag aardewerk. De smeedhaard werd gevuld met houtskool, en aangedreven met een blaaspijp die op de rand van de haard rustte, zoals enkele fragmenten ijzerslak en technisch aardewerk aantonen. Bij het verhitten van de ijzerwolf of het deels geraffineerde ijzer in de haard vloeide de overige ijzerslak uit de massa en hoopte zich op in de haard. Zo kon er zich een plano-convexe *cake* vormen tegen de haardwand aan, net onder het punt van de luchttoevoer. Ook zijn er voorbeelden waarbij de ijzerslak mogelijk op de bodem van de haard, op een laag brandstofasse, samensmolt tot een plano-convexe *cake*.

De metallurgische activiteiten leken voornamelijk gesitueerd in de oostelijke zone van het opgravingsterrein en de nederzetting. Dit is een fenomeen dat wel vaker waargenomen wordt. Deze locatie zou ervoor zorgen dat de veelvuldig voorkomende westenwind de toxische gassen en rook niet naar de nederzetting toe blies. Het is echter moeilijk te stellen wat de omvang van de metallurgische activiteiten moet zijn geweest. Een totaal van 34 kg ijzerslak wijst op de productie van minimaal 3,4 kg metallisch ijzer. In het smeden is de verhouding tussen slak en ijzermetaal zelfs kleiner waardoor we ervan uitgaan dat deze hoeveelheid slak overeenkomt met grotere hoeveelheden ijzer metaal dan de bovengenoemde 10%. Bijkomend, de knobbelige ijzerslakken die potentieel als primaire smeltslakken gezien kunnen worden, komen relatief weinig voor in vergelijking met de smeedslakken. Primaire processen resulteren doorgaans in procentueel grotere hoeveelheden ijzerslak dan de smeedprocessen. We moeten dus in overweging nemen dat van deze primaire ijzerslakken slechts een deel teruggevonden werd. Het is niet onwaarschijnlijk dat het smelten van het ijzererts omwille van de sterke rookontwikkeling nog iets verder buiten de nederzetting plaatsvond en de sporen ervan dus niet aangesneden werden tijdens de opgravingscampagne. Er lijkt vooralsnog geen sprake te zijn van grootschalige metallurgische activiteiten, maar wel van een ijzerproductie die gebruik maakte van de lokale grondstoffen om de vraag naar ijzer van deze Romeinse *vicus* en mogelijk enkele kleinere sites in de omgeving kon beantwoorden. De kennis van de vakman was toereikend om een redelijk efficiënt proces uit te voeren, van erts tot object, maar wat betreft het reductieproces was hij mogelijk nog niet

op de hoogte van de ovenstructuur met mogelijkheid om af te tappen, of het slakkenmateriaal zelf bereikte nog niet de nodige vloeibaarheid om dit mogelijk te maken.

6.2.2 Site Oelegem-Steenbergen

6.2.2.1 Overzicht van bodemsporen en structuren

DE BOE G. & LAUWERS F. 1980: 'Een inheemse nederzetting uit de Romeinse tijd te Oelegem', in *Archaeologia Belgica* vol. 228, 5-38, Nationale Dienst voor Opgravingen, Brussel.

In 1977 en 1979 voerden de Antwerpse Vereniging voor Romeinse Archeologie (AVRA) en de Nationale Dienst voor Opgravingen (NDO) enkele opgravingen uit op verkaveling Everhoek te Oelegem. De oudste sporen, enkele kuilen, bleken op basis van het aardewerk te dateren uit de vroege of midden-ijzertijd. Duidelijke bewoningssporen uit deze periode werden echter niet aangetroffen, al is het niet onmogelijk dat deze zich buiten het projectgebied bevonden. Ten noordwesten van de Romeinse nederzettingen werden talrijke kuilen uit de 17de – 18de eeuw aangesneden. De vondst van verbrande leem, houtskool en ijzerslakken deed vermoeden dat het ging om sporen van ijzerwinning.

Het grootste aantal sporen maakte deel uit van een inheems-Romeinse nederzetting. Er konden vijftien gebouwplattegronden worden onderscheiden, variërend van grotere woonhuizen tot spiekers. Deze stonden min of meer geordend langs een vrije open plaats, maar waren zeker niet allemaal gelijktijdig. Langs de zuidoostelijke kant van het terrein werd een concentratie van drie of vier waterputten aangesneden. Verder kon nog een gering aantal kuilen onderzocht worden, waar echter maar weinig vondsten uit tevoorschijn kwamen. Echte afvalkuilen leken volledig te ontbreken. Tot de plattegronden behoorden vijf hoofdgebouwen (type *Haps* en *Alphen-Ekeren*) en vijf bijgebouwen. Eén van de hoofdgebouwen was voorzien van een haard. De functie van de bijgebouwen was (door het ontbreken van specifieke vondsten) niet duidelijk. Verder waren er nog zeker twee spiekers en drie onvolledige plattegronden. De site werd op basis van het vondstmateriaal gedateerd tussen de tweede helft van de 1ste eeuw en het begin van de 3de eeuw. Vermoedelijk zijn er een vijftal bewoningsfasen geweest, met erven bestaande uit een woonhuis met één of twee bijgebouwen of spiekers. De inwoners van de nederzetting werkten voornamelijk in de veeteelt of akkerbouw. De vondst van metaalslakken en smeltkroesjes deed de archeologen vermoeden dat de er op beperkte schaal aan ijzerwinning uit limoniet en aan bronsbewerking werd gedaan om te voorzien in de eigen behoeften. Inheems handgevormd aardewerk ontbrak volledig, wat mogelijk wijst op een hoge graad van romanisatie.

6.2.2.2 Bodemkundige situering van de site

De vindplaats situeert zich ter hoogte van Zam-; Zbm- & Zcm-gronden. Het gaat om (zeer/matig) droge zandgronden met een dikke (≥ 60 cm) antropogene humus A-horizont. De ..m-profielontwikkeling sluit aan bij het algemeen beeld bij de bespreking van het aardkundig kader, evenals het voorkomen van droge gronden (.a-c.-drainage). De site bevindt zich op een paar honderd meter afstand van uiterst natte alluviale gronden, waarbij ook veen aanwezig is. Veen vormt een indicatie van stilstaand of

gevangen water, waarbij niet alleen organische afzettingen voorkomen, maar ook ijzeroer gevormd kan worden. De site zelf bevindt zich op de hoger gelegen delen van het landschap en de ondergrond wordt gekenmerkt door roestvlekken, wat wijst op het neerslaan van ijzerverbindingen. Hierbij kan het klassieke beeld naar voren geschoven worden, waarbij ijzerhoudende sedimenten de bron vormen van vrij ijzer dat oplost in regenwater en doorheen de ondergrond terechtkomt in de lager gelegen alluviale vallei waar het eventueel als ijzeroer kan afgezet worden.

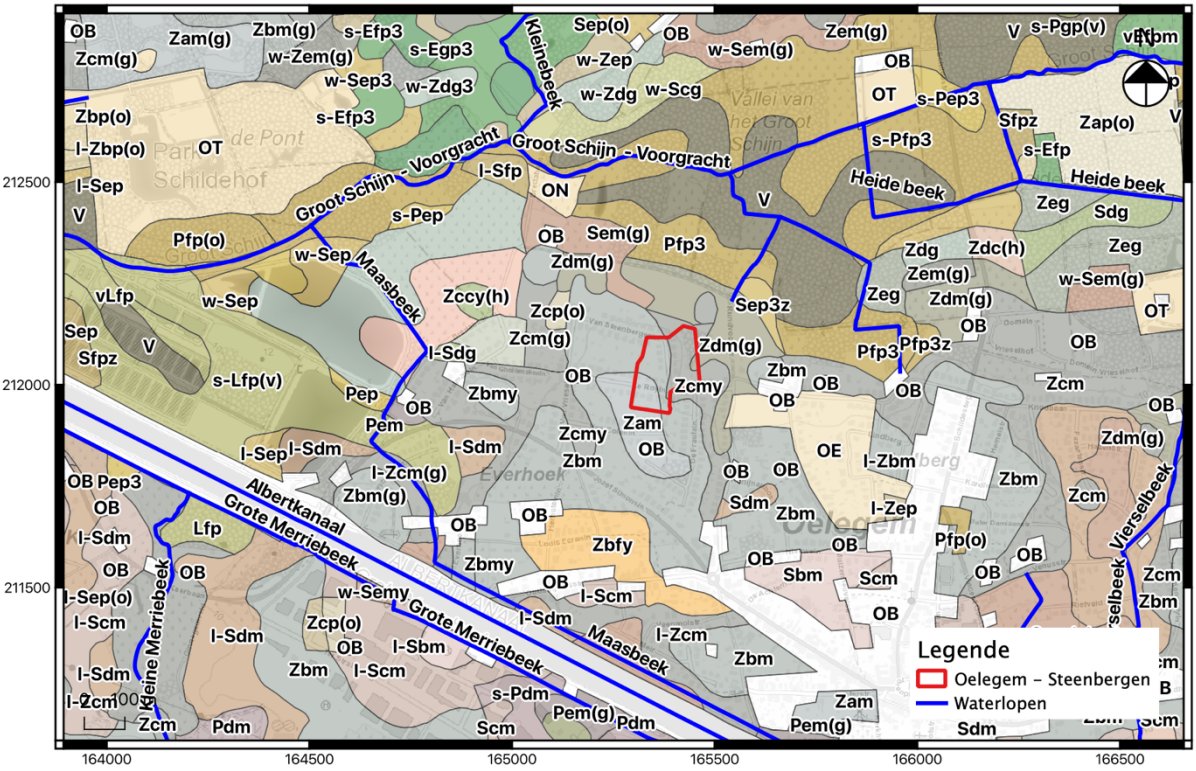


Fig. 6.52: Bodemkaart kaart met aanduiding van de waterlopen en het onderzoeksgebied.

6.2.2.3 Metallurgisch ensemble

Het metallurgische ensemble heeft een totaalgewicht van ca. 20,5 kg en bestaat grotendeels uit ijzerslakken (67 fragmenten, ca. 11 kg) en brokken ijzeroer (63 fragmenten, ca. 7,9 kg), maar ook fragmentjes metallisch ijzer (30 fragmenten, ca. 483 g), fragmenten verglaasde brandstofassen (15 fragmenten, ca. 0,5 kg) en twee fragmentjes technisch aardewerk (44 g).

IJzerslakken

De metaalslakken zijn zonder twijfel afkomstig van ijzerproductie. Onder deze ijzerslakken kunnen we in eerste instantie een onderscheid maken tussen duidelijke gefragmenteerde compacte smeedhaardbodems en fragmenten, en onbepaalde ijzerslakken waarvan een groot aantal met een zeer globulair oppervlak. Dertig fragmenten (ca. 6,5 kg) werden geregistreerd als (potentiële) smeedslakken. Tien fragmenten kunnen met enige zekerheid gedetermineerd worden als delen van smeedhaardbodems. Deze hebben doorgaans de herkenbare plano-convexe vorm: een vlakke bovenzijde en een convexe onderzijde. Enkele van deze fragmenten hebben ook de kenmerkende

rechte zijde, eventueel bedekt met resten aardewerk. Kenmerkend voor deze smeedslakken is de eerder compacte en homogene samenstelling, al zijn er verschillende meer kalk- of silicarijke en poreuze fragmenten.

De twee grootste fragmenten van smeedhaardbodems wegen ca. 550 g en hebben een maximale diameter van 10 cm en een dikte van ca. 5,5 cm. Het ene fragment (V OE 4 D 60, Fig. 6.53) heeft een vrijwel ronde omtrek, een vlakke bovenzijde met een knobbelige en poreuze kroon, en een sterk knobbelige of vesiculaire onderzijde. Het voorbeeld is een bijna volledige plano-convexe smeedhaardbodem, met mogelijk meerdere smeedlagen zichtbaar. Het andere fragment (V OE 4 C, Fig. 6.54) heeft een onregelmatige omtrek met een vlakke zijde bedekt met verglaasde brandstofasse en resten aardewerk. Het gehele fragment is bedekt met een zandige laag, maar de bovenzijde toont een golvend oppervlak, en de onderzijde is knobbelig of globulair. Het fragment is mogelijk bijna volledig, en betreft zo een typevoorbeeld van een gedeeltelijk gevormde smeedhaardbodem die zich aan de haardwand gevestigd heeft. Beide voorbeelden werden doorgezaagd voor staalname. De doorsnedes tonen een compacte en relatief homogene materie met een kristallijne structuur, die ook met het blote oog zichtbaar is. In de doorsnede is een duidelijke gelaagdheid waar te nemen door schakeringen van de grijsbruine kleur, die mogelijk te verklaren is door het aandeel van silica of calcium. In staal V OE 4 C wordt deze gelaagdheid bijkomend benadrukt door de aanwezigheid van tussenliggende lagen met zeer hoge hoeveelheden calcium of silica of een verhoogde porositeit. In staal V OE 4 D 60 lijken de lagen meer in elkaar over te vloeien. De porositeit neemt doorgaans ook toe naar de bodem en randen van de doorsnede. Doorheen de doorsnede zijn ook enkele grotere luchtbellen waar te nemen waarin eventueel houtskoolinclusies bewaard bleven. De gelaagdheid van deze doorsnedes wijst op smeedactiviteiten waarbij de vorming van de ijzerslakken geen continuïteit kende.

Een redelijk aandeel van de ijzerslakken werd omwille van hun compacte samenstelling als potentiële smeedslakken gedetermineerd (vb. V OE 4 E (e1) 70-75, Fig. 6.55). Ook het voorkomen van een vlakke zijde met verglaasde brandstofasse en aardewerkresten wijst op de mogelijkheid dat deze tegen de haardwand aan gevormd werden, zoals vaak te zien is bij de smeedhaardbodems. Deze fragmenten kunnen echter zodanig onregelmatig zijn en gekenmerkt worden door globulaire of knobbelige vormen dat ze moeilijk overtuigend kunnen worden gedetermineerd als fragmenten van plano-convexe smeedhaardbodems. Geregeld hebben ze ook een lichtere kleur door de verhoogde aanwezigheid van verglaasde brandstofasse en zijn ze bedekt met een zandige korstlaag. Het stuk (V OE 4 E (e1) 70-75) betreft tevens het grootste en zwaarste fragment onder de ijzerslakken van de site. Het weegt 789 g, meet 14 cm x 8 cm x 7 cm en oogt in eerste instantie als een vormeloze massa ijzerslak met een grote hoeveelheid verglaasde brandstofasse, bedekt met een dikke korstige zand- en corrosielaag. Toch kunnen we, net zoals bij de andere fragmenten uit dezelfde context, mogelijk een plano-convexe vorm waarnemen. De platte bovenzijde heeft een golvend maar gefragmenteerd oppervlak, en de bolvormige onderzijde vertoont een licht knobbelige textuur. Het blijft echter moeilijk om met zekerheid te stellen dat deze fragmenten van smeedhaardbodems afkomstig zijn, waarbij de optie van ovenbodems in het achterhoofd behouden blijft.



Fig. 6.53: Smeedhaardbodem V OE 4 D 60: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).



Fig. 6.54: Smeedhaardbodem V OE 4 C: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).



Fig. 6.55: V OE 4 E (e1) 70-75.

Dit brengt ons bij de vele fragmenten van “globulaire” ijzerslakken die we hebben onderscheiden (ca. 28 fragmenten, ca. 3,8 kg; vb. V OE 1, Fig. 6.56; V OE 4 E 70-75, Fig. 6.57 ; V OE 4 E 1 75-80, Fig. 6.58). Ze zijn sterk gefragmenteerd en hebben zeer uiteenlopende afmetingen. Het grootste exemplaar (V OE 4 E 1 75-80) weegt 409 g, terwijl de kleinste fragmenten slechts een tiental gram wegen. De ijzerslakken zijn schijnbaar vormeloze brokken, gewoonlijk met een grote hoeveelheid aan verglaasde brandstofasse en bedekt met een zandige korstlaag. De vormeloosheid wordt benadrukt door een globulair oppervlak langs vrijwel alle zijden. Occasioneel kan er een mogelijke plano-convexe vorm waargenomen worden en bij enkele fragmenten zijn er ook resten aardewerk aanwezig, al dan niet op een platte zijde.

Om duidelijkheid te krijgen in de samenstelling van dit type van ijzerslakken werden twee fragmenten doorgezaagd (V OE 4 E 3 50-70, Fig. 6.59 & V OE 4 E 70-75, Fig. 6.57). Beide fragmenten vertoonden een eerder plano-convexe vorm. Bij het doorsnijden werd deze vorm bevestigd. De doorsnedes vertonen geen grote verschillen met de fragmenten van de eerder beschreven smeedhaardbodems. Ook in deze fragmenten zijn lagen waar te nemen door schakeringen in de grijsbruine kleur. In staal OE 4 E 50-70 lijkt deze gelaagdheid wat onregelmatiger te zijn. In beide voorbeelden lijkt, in vergelijking met de smeedhaardbodems, het aandeel calcium of silica hoger te zijn, net zoals de porositeit. Dit doet ons vermoeden dat deze “globulaire” ijzerslakken verband houden met dezelfde metallurgische activiteiten als de duidelijk herkenbare fragmenten van smeedhaardbodems. Wel kunnen we de vraag stellen welke handelingen of condities in de smeedhaard leiden tot het verhoogde calcium-silica gehalte en de porositeit.

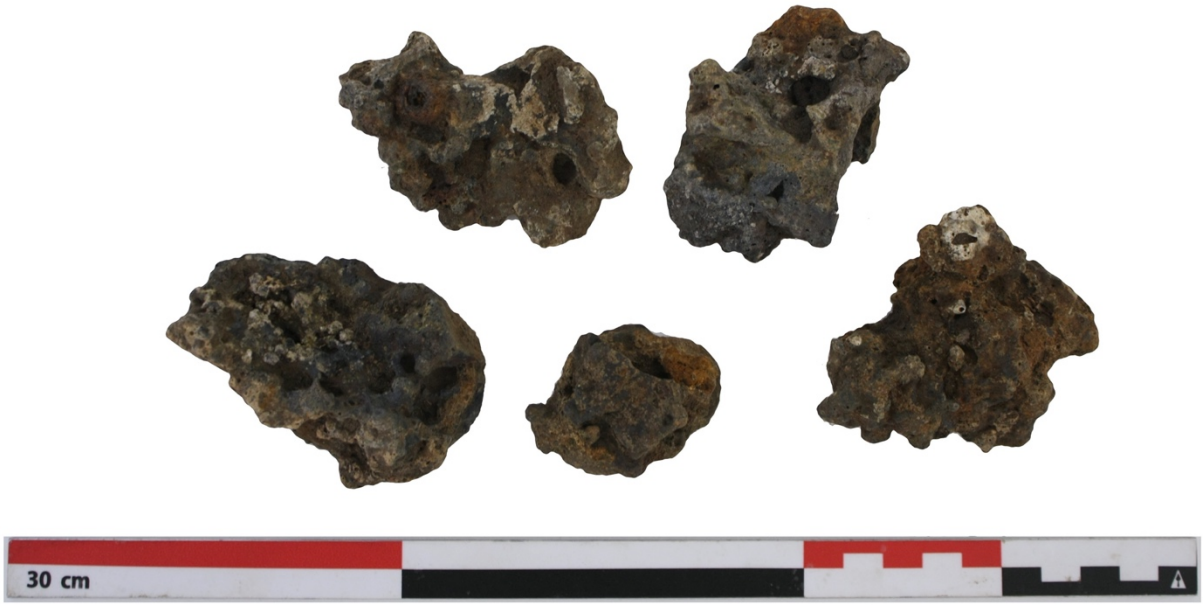


Fig. 6.56: “Globulaire” ijzerslakken V OE 1.

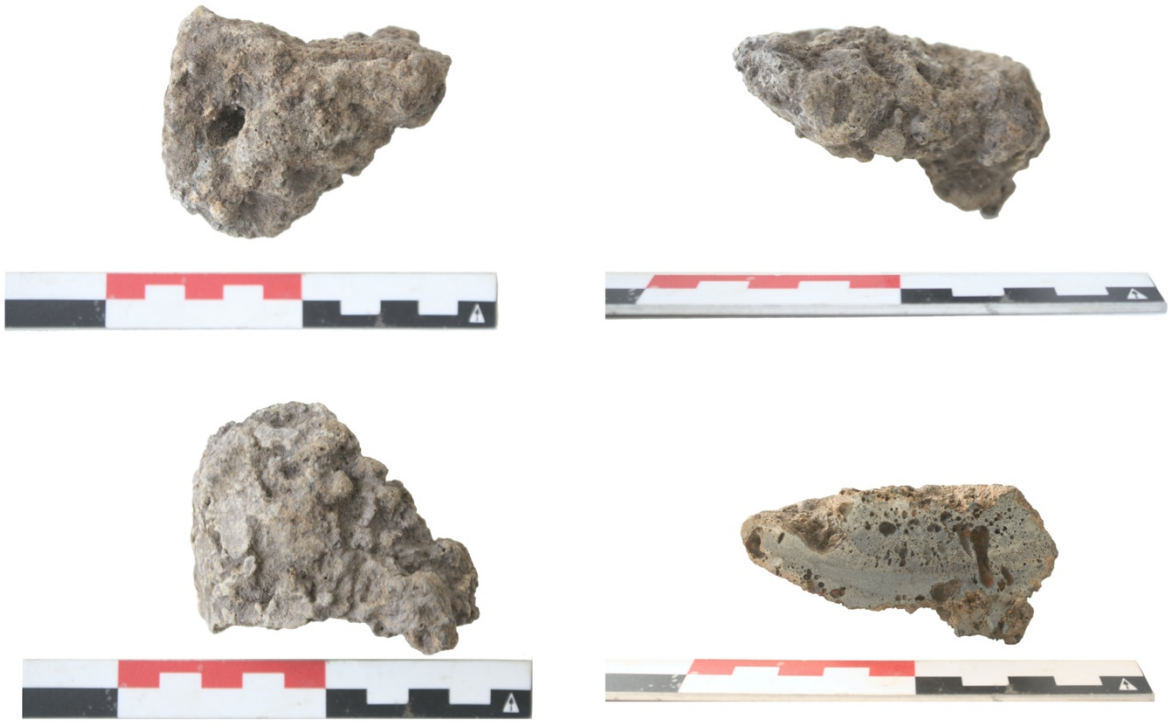


Fig. 6.57: “Globulaire” ijzerslak V OE 4 E 70-75: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

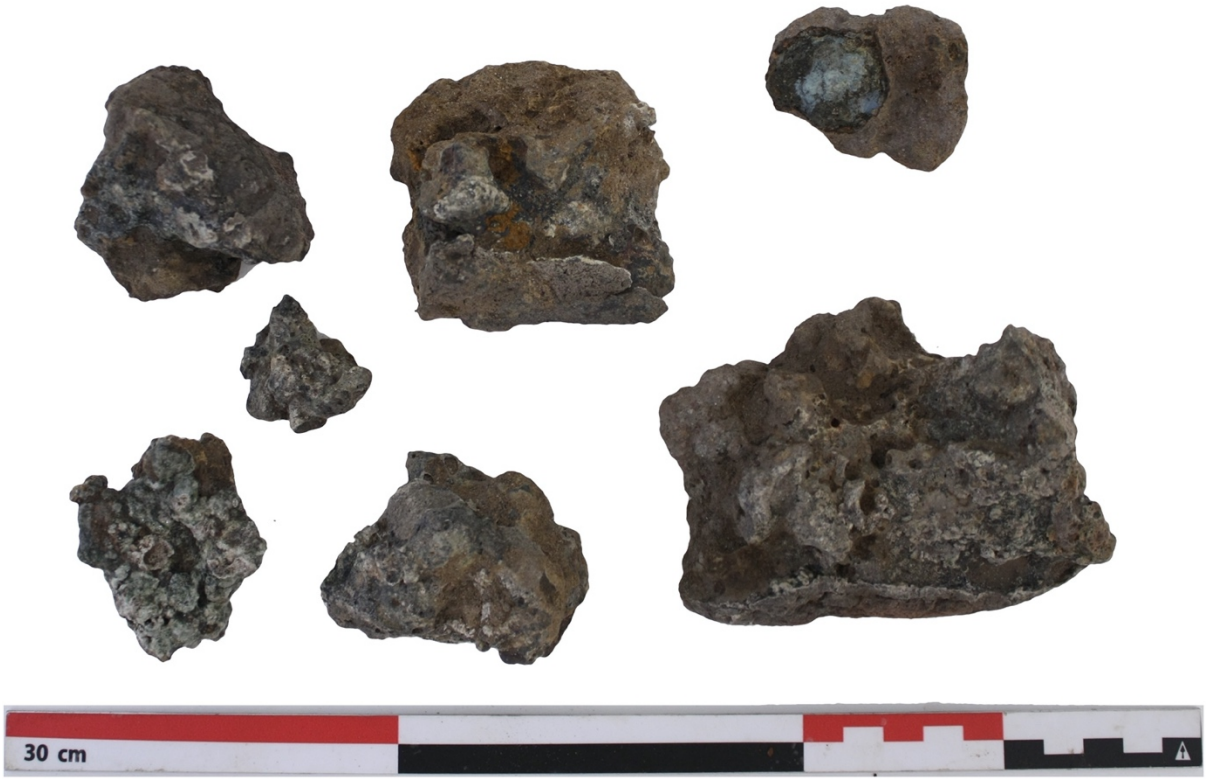


Fig. 6.58: “Globulaire” ijzerslakken V OE 4 E 1 75-80.

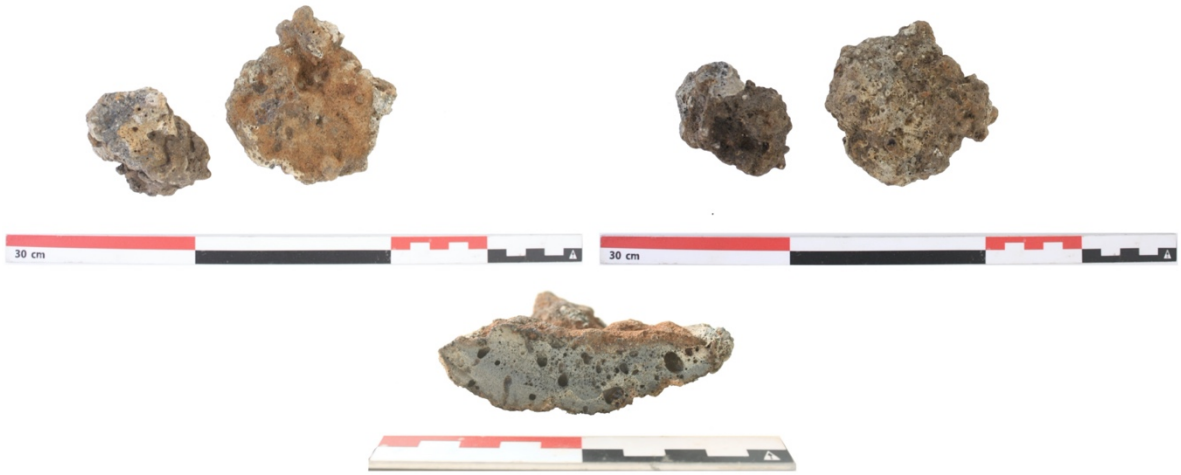


Fig. 6.59: “Globulaire” ijzerslak V OE 4 E 3 50-70: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en doorsnede (onderaan).

De overige ijzerslakken werden omwille van hun sterk fragmentarisch karakter of de aanwezigheid van een dikke laag corrosieproducten geclassificeerd als onbepaald. Bij het doorzagen van een enkel zeer knobbelig fragment (OE 4 C 2 70-71, Fig. 6.60) kon een relatief compacte en redelijk homogene materie waargenomen worden, gelijkaardig aan de eerder beschreven fragmenten van smeedhaardbodems en “globulaire” ijzerslakken. Het verschil uit zich enkel in het ontbreken van een gelaagdheid en de hoge porositeit en (houtskool)inclusies. Het slakkenmateriaal in dit fragment lijkt minder vloeibaar te zijn geweest en zich te hebben vervlochten met de resten in de smeedhaard, i.e. de brandstof en brandstofasse. Dit leidt ook wel eens tot de mogelijkheid dat deze ijzerslakken zich vormden in de smeltoven en zo een verzameling zijn van het slakkenmateriaal en de resterende brandstofasse onderaan in de ovenhaard. Dit scenario van primaire smeltactiviteiten laat zich deels leiden door de vele brokken ijzeroer die werden verzameld op de site en geregistreerd werden als metallurgisch materiaal. Er zijn echter te weinig overtuigende aanwijzingen voor deze optie.



Fig. 6.60: Enkele zeer knobbelige fragmenten onbepaald V OE 4 C2 70-71: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

De meerderheid van de ijzerslakken aangetroffen op deze site (68% gewicht) is afkomstig van gebouw 4. In deze context zijn zowel zeer herkenbare als minder duidelijke fragmenten van smeedhaardbodems aangetroffen, en de “globulaire” ijzerslakken al dan niet met rechte kant en aardewerkresten. Deze twee types van ijzerslakken komen in vrijwel dezelfde hoeveelheden voor. Zoals reeds bleek uit de doorsnedes kunnen we veronderstellen dat beide types afkomstig zijn van smeedactiviteiten, dewelke mogelijk in deze zone van de nederzetting hebben plaatsgevonden. Eventueel kunnen de verschillen in morfologie en samenstelling toegeschreven worden aan diverse stappen in het productieproces, zoals de raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het ijzer. Dit laatste blijft echter een moeilijk zaak in de studie van de ijzerslakken. De ijzerslakken getuigen niet van primaire productieprocessen.

Overig metallurgisch materiaal

Er zijn ook een aantal fragmenten versinterde en verglaasde brandstofasse aangetroffen (ca. 15 fragmenten, ca. 0,5 kg). Deze zijn onregelmatig of plat in vorm en bevatten geregeld ook wat ijzerslak en occasioneel ook wat resten aardewerk. Slechts twee fragmentjes (totaal 44 g) technisch aardewerk konden onderscheiden worden, met kleine hoeveelheid ijzerslak. Er werden ook een dertigtal stukjes (ca. 483 g) sterk gecorrodeerd ijzer aangetroffen. Deze zijn voornamelijk kleine platte fragmentjes restafval, maar enkele zijn mogelijk fragmenten van voorwerpen.

Bij de opgraving werd ook een aanzienlijke hoeveelheid (63 brokken, ca. 7,9 kg) ijzeroer ingezameld en in het depot foutief gedeponeerd als metallurgisch materiaal. Het ijzeroer komt voornamelijk uit sporen gerelateerd aan gebouwen 5 (25 brokken, ca. 3 kg) en 4 (18 brokken, ca. 13,5 kg). Het is moeilijk te stellen of deze brokken effectief gediend hebben als ijzererts voor de metallurgische activiteiten die mogelijk op deze site hebben plaatsgevonden. Opvallend zijn echter wel de magnetische zones die op bepaalde brokken waargenomen konden worden aan de hand van een eenvoudige magneet.

6.2.2.4 Microstructurele en chemische analyse van de ijzerslakken

Chemische samenstelling (pXRF)

Door de eerder beperkte aantal ijzerslakken en de uniformiteit op macroscopisch niveau werden voor Oelegem slechts zes ijzerslakken doormidden gezaagd en onderworpen aan een analyse door middel van pXRF. De selectie betreft enkele voorbeelden van de reguliere smeedhaardbodems en de globulaire slakken.

Op het eerste gezicht zijn er geen grote verschillen in de chemische samenstelling van slakken van de geselecteerde sites waar te nemen. De metingen van de primaire componenten van de ijzerslak, i.e. ijzer, silica en alumina, vertonen gelijkaardige waarden. Het gemiddelde van de silica in de smeedhaardbodems van Oelegem ligt in vergelijking met de andere sites wel wat hoger, en dat in combinatie met relatief hoge gemiddelde waarden voor koper en nikkel en lage metingen voor fosfor. Door het lage aantal metingen is er verder geen duidelijk patroon waar te nemen in de verhouding tussen de primaire elementen in de ijzerslakken van Oelegem, met uitzondering van één enkel

fragment, i.e. OE4 E3 50-70, waarbij de correlatie tussen aluminium, silica en ijzer toch wel duidelijk bleek. Bij zowel een toename van aluminium als silica neemt het aandeel van ijzer in de ijzerslakken af. Beide elementen hebben dus een invloed in het aandeel van ijzer in de slakken, dat mogelijk slechts minimaal aanwezig was als ijzeroxide. De verhouding tussen aluminium, silica en ijzer was schijnbaar dusdanig in evenwicht dat een zeer goed vloeiende slak gevormd kon worden. Deze kon gemakkelijk uit de ijzerwolf gehamerd worden. De waarden voor silica zijn echter relatief hoog voor de smeedlakken van Oelegem. Het is dus niet onwaarschijnlijk dat een silica-rijke materie werd toegevoegd bij het smeden om de smelttemperatuur van het slakkenmateriaal naar beneden te halen. Bijkomend kunnen we opnieuw vaststellen dat mangaan en ijzer simultaan toe- of afnemen. Ook hier kunnen we dus stellen dat het oorspronkelijk ertsmateriaal ijzeroer was. De ijzerslakken van Oelegem zijn echter enkel afkomstig van secundaire smeedactiviteiten of de raffinage van de ijzerwolf.

Microstructurele samenstelling

Voor de microscopische studie werden van vier fragmenten stalen genomen van ca. 1 cm^3. Van één fragment met meerdere smeedlagen, i.e. OE 4 D 60, werden twee stalen genomen, van een zone bovenaan en een zone onderaan in de doorsnede. De microstructuren van deze twee stalen zijn een duidelijk voorbeeld van de gekende variabiliteit van ijzerslakken, dewelke doorgaans ook waar te nemen is in de chemische samenstelling en uitvoerig besproken werd door Humphris e.a. (2009). Door de wisselwerking van zeer uiteenlopende factoren in het smeed-, maar in het bijzonder het smeltproces is de uniformiteit van de ijzerslakken afkomstig van hetzelfde proces eerder beperkt. Hierdoor vertonen de ijzerslakken onderling doorgaans relatief grote verschillen in microstructuur en samenstelling. Ook binnen eenzelfde slak kunnen de waarden per meting sterk uiteenlopen. Zo is bij slak OE 4 D 60 een duidelijk verschil op te merken tussen de bovenste laag en de onderste laag van de doorsnede, waarbij deze bovenaan een toename kent in de metingen voor aluminium en silica en ook microstructureel een andere samenstelling vertoont. Dit is mogelijk te verklaren door interactie met de haardbekleding. Ook tussen de slakken onderling is variatie in de microstructuur absoluut geen uitzondering. Toch tonen de stalen van Oelegem een relatief uniforme microstructurele samenstelling, met een enkele uitschieter (LV22PD24, i.e. OE 4 D 60 L1) die te verklaren is door het hoge aandeel aan aluminium en silica.

De hoofdcomponenten van de microstructuur van ijzerslakken zijn steevast ijzersilicaten (doorgaans fayaliet, $2FeO.SiO_2$) ingebed in een glasachtige matrix (doorgaans anortiet, $CaAl_2Si_2O_8$), ijzeroxiden en al dan niet metallisch ijzer. Deze komen aan bod in zeer uiteenlopende hoeveelheden, samenstellingen en vormen dewelke afhankelijk zijn van enerzijds de chemische samenstelling van de ruwe materialen en anderzijds de productieomstandigheden zoals de temperatuur, reducerende condities en afkoelsnelheid. In de stalen van Oelegem kunnen geen microstructurele groepen onderscheiden worden, wat overeenkomt met de bevindingen op macroscopisch niveau. Over het algemeen kunnen we stellen dat de stalen van Oelegem een klassieke microstructuur vertonen met voornamelijk eerder grote langwerpige ijzersilicaten in de glasachtige matrix, wat duidt op een trage koeling van het slakkenmateriaal. Naar het oppervlak toe kunnen deze evolueren naar kleinere kristallen, wat te verklaren is door de snellere afkoeling. De ijzeroxiden komen doorgaans in zeer kleine hoeveelheden voor als fijne dendritische structuren in de matrix of als langwerpige veerachtige structuren verzonken in de ijzersilicaten of als eerder rechthoekige opengewerkte kristallen (i.e. onvolledig gevormd

magnetiet). Magnetiet wijst doorgaans op eerder oxiderende condities, wat niet abnormaal is bij smeedprocessen. In enkele zones van de stalen (LV22PD23, LV22PD25 & LV22PD26) komen de ijzeroxiden ook voor als reguliere stippen en dendritische structuren (i.e. wüstiet). De vorming van dendritische structuren wijst erop dat de ijzerslak zich vormde in eerder reducerende condities. Ook bleek dat de ijzeroxiden danig varieerden in hoeveelheid en bij momenten danig afnemen of toenemen in bepaalde zones. Het is niet onwaarschijnlijk dat hier de microstructuur van de primaire smeltslak behouden bleef.

Staal LV22PD24 (OE 4 D 60 L1) toont een hevig verglaasde microstructuur met langwerpige, maar gefragmenteerde ijzersilicaten en geen ijzeroxiden. Het is duidelijk dat in dit exemplaar al het ijzer werd opgenomen in de vorming van de ijzerslak om de hoge waarden voor aluminium en silica te compenseren. Enkel in staal LV22PD23 konden een aanzienlijke hoeveelheid (i.e. 30-tal) aan partikels van metallisch ijzer geteld worden op een lage vergroting van 5x. Het voorkomen van metallisch ijzer in ijzerslakken wordt doorgaans eerder gerelateerd aan primaire activiteiten in de ijzerproductie, en is hier in slechts één voorbeeld waargenomen. Ook de dominante aanwezigheid van ijzeroxiden wordt vaker waargenomen in smeltslakken dan in smeedslakken. Daar deze slechts in bepaalde zones voorkomen kunnen we ook op basis van de microstructurele samenstelling van deze selectie van ijzerslakken van Oelegem stellen dat deze afkomstig zijn van secundaire smeedprocessen.

6.2.2.5 Samenvatting

De metallurgische resten zijn zonder twijfel afkomstig van secundaire ijzerproductie (smeden). Bij de eerste studie van de ijzerslakken kon vrijwel de helft van de fragmenten onderscheiden worden als duidelijke smeedslakken, bestaande uit gefragmenteerde smeedhaardbodems en fragmenten. De andere helft werd initieel als “globulaire” slakken gegroepeerd waarbij minder zekerheid bestond over de interpretatie van het productieproces. Zeker in combinatie met de aanwezigheid van de vele brokken ijzeroer op de site dient de mogelijkheid van primaire smeltactiviteiten in overweging te worden genomen. Het doorzagen van enkele fragmenten van beide soorten van ijzerslakken heeft eerder gelijkenissen in plaats van verschillen voor wat betreft de materie opgeleverd. Dit toonde aan dat vrijwel alle ijzerslakken afkomstig zijn van raffinage- of smeedactiviteiten. Er zijn geen voorbeelden aangetroffen die zonder twijfel geïnterpreteerd kunnen worden als resten van de voorafgaande fase in het productieproces, i.e. de reductie van het ijzererts in de oven. Deze bevindingen werden bijkomend bekrachtigd door de chemische en microstructurele samenstelling van een selectie van deze ijzerslakken. Hieruit konden we ook opmaken dat bij het initiële smeltproces gebruik werd gemaakt van ijzeroer, het ijzererts dat in de regio beschikbaar was, en dat silica mogelijk gebruikt werd als vloeimiddel bij het smeden.

De smeedhaard bestond mogelijk uit een eenvoudige uitgraving in de grond, dewelke deels werd bekleed met een laag aardewerk. De zeer beperkte aanwezigheid van fragmenten technisch aardewerk en de weinige resten van bekleding op de ijzerslakken doen vermoeden dat deze bekleding van de smeedhaard niet dikker was dan een tweetal centimeter. De smeedhaard werd opgevuld en verhit met houtskool. Volgens de gangbare methode werd het vuur aangedreven met een blaaspijp die rust op de rand van de haardwand. Hiervan zijn echter geen duidelijke aanwijzingen te vinden in Oelegem. Het

slakkenmateriaal hoopte zich op tot een plano-convexe *cake* tegen de haardwand, of waarschijnlijk ook op de bodem van de haard.

De uiteenlopende afmetingen en vormen van de ijzerslakken wijzen erop dat er geen absolute continuïteit of standaardisatie was in de gebruikte techniek. Bij momenten werd er meer calcium of silica gebruikt als vloeimiddel, of een haard werd niet leeg gemaakt alvorens de smid opnieuw begon te smelten, waardoor ijzerslak zich ophoopte op de voorgaande. Sommige van de smeedslakken zijn opvallend onregelmatig van vorm, waaruit blijkt dat de ijzerslak mogelijk niet altijd even vloeibaar was en misschien als een eerder stroperige substantie samenvloeide tot een massa. Eventueel kunnen de verschillen in morfologie en samenstelling toegeschreven worden aan diverse stappen in het productieproces, zoals de raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het ijzer. Dit laatste blijft echter een moeilijk zaak in de studie van de ijzerslakken.

De absolute meerderheid van de ijzerslakken (69% gewicht) werd aangetroffen in relatie tot gebouw 4. Ook van het ijzeroer werd een aanzienlijk hoeveelheid (17% op basis van het totaalgewicht) ingezameld. We kunnen er bijgevolg vanuit gaan dat de metallurgische activiteiten mogelijk plaatsvonden in of in de nabijheid van deze gebouwplattegrond, die vrijwel centraal in het opgravingsareaal gelegen was. Gebouw 4 situeert zich in de voornaamste bouweenheid (2-4) van de nederzetting, die ongeveer een centrale plaats inneemt aan de zuidoostelijke zijde van het erf. Drie min of meer evenwaardige tweeschepige gebouwen hebben elkaar op deze plaats opgevolgd. Op basis van de vulling van de paalkuilen zou gebouw 4 mogelijk het oudste van de groep kunnen zijn, maar er bestaat hier geen absolute zekerheid over. In associatie met gebouwstructuren 5 en 7 zijn respectievelijk 8% en 13% (in gewicht) van de ijzerslakken gevonden. Uit de sporen van gebouw 5 werd ook een redelijk groot aandeel van het ijzeroer ingezameld (ca. 3 kg, 39% in gewicht). Er zijn geen duidelijke verschillen te onderscheiden tussen de ijzerslakken van deze twee structuren en deze afkomstig van gebouw 4. Hieruit kunnen we concluderen dat er geen andere metallurgische praktijken zijn uitgevoerd dan de raffinage of smeden van de ijzerwolf. De ijzerslakken getuigen immers niet van primaire productieprocessen. Zo kunnen we nog steeds de vraag stellen waar het de reductie van het erts dan plaatsvond. De knobbelige ijzerslakken, zoals aangetroffen in de *vicus* van Grobbendonk maar ook in de meer nabijgelegen *vicus* te Kontich, getuigen echter dat het primaire smelten van het lokale ijzeroer wel al uitgevoerd werd in de regio tijdens de Romeinse periode, maar dat deze activiteit zich mogelijk beperkte tot de grotere nederzettingen.

6.3 Vroege middeleeuwen

6.3.1 Site Nijlen-*Mussenpad*

6.3.1.1 Overzicht van bodemsporen en structuren

YPERMAN W. 2008: *Archeologisch onderzoek op de geplande verkaveling te Nijlen – Mussenpad (provincie Antwerpen)*, Archaeological Solutions, s.l.

BOURGEOIS I., ERVYNCK A., ANNAERT R., BOUDIN M., DEFORCE K., DEGRYSE P., DE WOLF H., HANECA K., HÄNNINEN K., JACOBS M., VANDEN BERGHE I., VAN DER MEER W., VAN NEER W. & VAN STRYDONCK M. 2015: 'Cultureel-archeologisch en ecologisch onderzoek van twee vroegmiddeleeuwse waterputten uit Nijlen: landschap en landgebruik', in *Relicta Archeologie, Monumenten- en Landschapsonderzoek in Vlaanderen*, vol. 12, 7-56.

Voorafgaand aan de verkaveling Mussenpad voerde Archaeological Solutions in 2008 een archeologische opgraving op het terrein uit (vergunning 2008/133). De oudste sporen, twee kuilen, dateerden uit de late bronstijd of de vroege ijzertijd. Meer sporen verschenen in de midden- en late ijzertijd. Voor deze periode konden drie structuurtjes, spiekers, geïdentificeerd worden. Huisplattegronden bevonden zich niet op de opgraving, maar mogelijk zijn deze wel in de omgeving van de spiekers te vinden. Verspreid over het plangebied werd een twintigtal kuilen opgraven die werden geïnterpreteerd als kuilen voor opslag en afvalkuilen. Er lijkt na de late ijzertijd een onderbreking in de menselijke aanwezigheid te zijn geweest, want de eerstvolgende sporen dateerden uit de vroege middeleeuwen. Het betrof een aantal paalkuilen, verspreid over het terrein, die echter niet aan een plattegrond konden worden toegewezen. De meest in het oog springende sporen waren twee waterputten uit de karolingische periode (8ste tot 10de eeuw).

Uit heel wat (afval)kuilen en uit de twee waterputten komt een massale hoeveelheid ijzerslakken en stukken van ovenwanden. Deze vormen een indirect bewijs dat er ooit op deze plaats aan ijzerverwerking werd gedaan. Een smeltoven is er binnen het plangebied niet aangetroffen.

6.3.1.2 Bodemkundige situering van de site

Volgens de bodemkaart is de vindplaats gesitueerd op een vergraven bodem (OT). Het archeologisch onderzoek wees echter uit dat dit niet klopt en de site te situeren is op een Zcm-bodem. Dit is een matig droge zandbodem met een dikke (≥60 cm) antropogene humus A-horizont. De ..m-profielontwikkeling sluit aan bij het algemeen beeld dat bleek uit de bespreking van het aardkundig kader, evenals het voorkomen van droge gronden (.a-c.-drainage). De site bevindt zich op een paar honderd meter van uiterst natte alluviale gronden, waarbij ook veen aanwezig is. Veen vormt een indicatie van stilstaand of gevangen water waarbij niet alleen organische afzettingen voorkomen, maar ook ijzeroer gevormd kan worden. De site zelf bevindt zich op de hoger gelegen delen van het landschap en de ondergrond wordt gekenmerkt door roestvlekken, wat wijst op het neerslaan van ijzerverbindingen. Hierbij kan het klassieke beeld naar voren geschoven worden waarbij ijzerhoudende sedimenten de bron vormen van vrij ijzer dat oplost in regenwater en doorheen de ondergrond

terechtkomt in de lager gelegen alluviale vallei waar het eventueel als ijzeroer kan afgezet worden. Verschillende profielen en diepere sporen tonen duidelijk de aanwezigheid van roestvlekken.

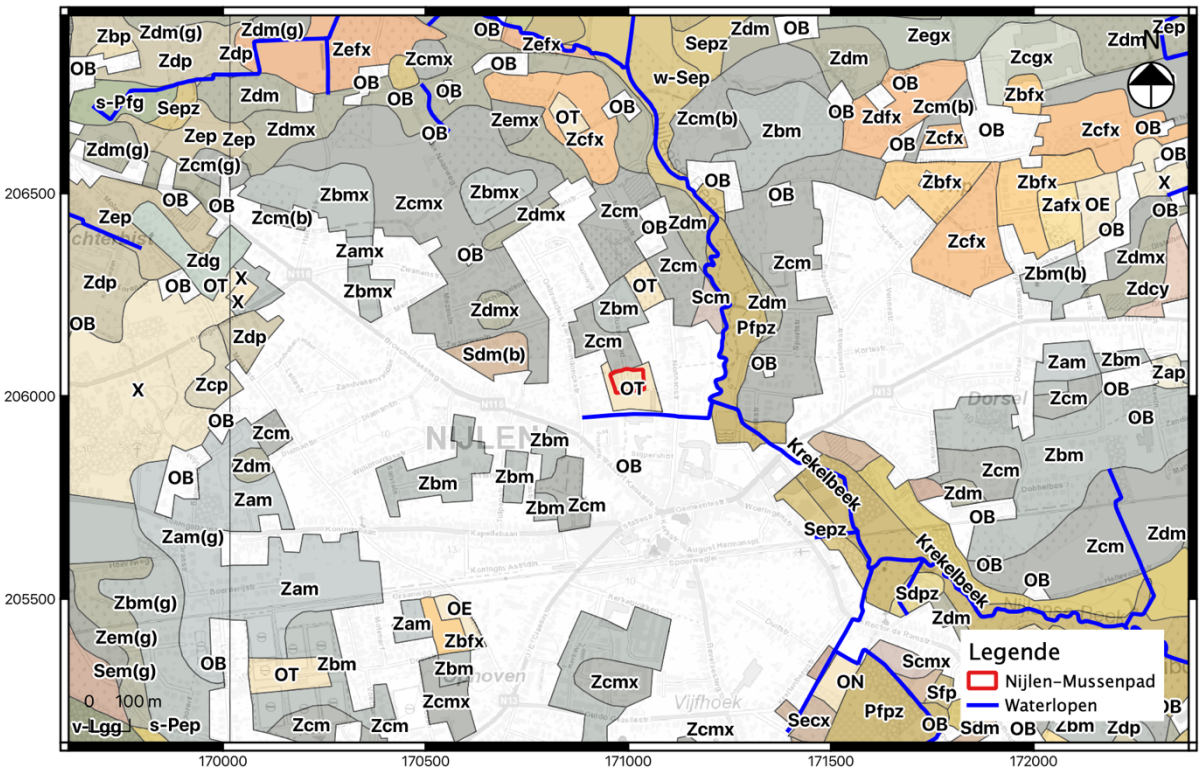


Fig. 6.61: Bodemkaart kaart met aanduiding van de waterlopen en het onderzoeksgebied.



Fig. 6.62: Putwandprofiel 14 uit de opgraving met duidelijke roestvlekken.

6.3.1.3 Metallurgisch ensemble

Het metallurgisch ensemble heeft een totaalgewicht van ca. 60 kg en bestaat grotendeels uit ijzerslakken (ca. 651 fragmenten, ca. 53,5 kg), maar ook uit technisch aardewerk (ca. 138 fragmenten, ca. 2,9 kg), ander metallurgisch afval (ca. 140 fragmenten, ca. 2,2 kg) waaronder brandstofasse-slakken (ca. 23 fragmenten, ca. 1,3 kg), brokken natuursteen die mogelijk als ijzererts ingezameld werden (ca. 10 fragmenten, ca. 1 kg), en drie fragmentjes metallisch ijzer (ca. 23 g).

De metallurgische resten werden aangetroffen in relatie tot 70 verschillende sporen. De overgrote meerderheid van het materiaal (i.e. 86% bij gewicht) werd echter ingezameld uit twee waterputten: 68 fragmenten met een totaal van 8 kg uit waterput 1 (S11), en 567 fragmenten met een totaalgewicht van 43,3 kg uit waterput 2 (S154). In de overige sporen werden gemiddeld slechts vier fragmenten gevonden met een gemiddeld totaalgewicht van 120 g per spoor, variërend van slechts één enkele gram tot 908 g per spoor. Met uitzondering van de vondsten uit de twee waterputten worden de metallurgische resten op de rest van de site gekenmerkt door hun fragmentarische aard, en een ruime verspreiding. Daarom zal de uitgebreide bespreking van de metallurgische vondsten van Nijlen-*Mussenpad* zich in eerste instantie richten op het materiaal uit waterputten 1 en 2.

IJzerslakken sensu lato

De metaalslakken (651 fragmenten, ca. 53,5 kg) zijn overwegend afkomstig uit de twee waterputten (86% op basis van het totaalgewicht). Het gaat om 415 fragmenten met een totaalgewicht van ca. 38,8 kg uit waterput 2 (S154), en 53 fragmenten met een totaalgewicht van ca. 7,2 kg uit waterput 1 (S11). De overige 183 fragmenten, met een totaalgewicht van 7,5 kg, werden aangetroffen in de vullingen van 56 bodemsporen (uit de ijzertijd). Het gaat hier gemiddeld over drie fragmenten of 132 g per spoor. De grootste hoeveelheden zijn 705 g (S506) en 622 g (S43). Een enkel fragment metaalslak weegt gemiddeld slechts 41 g, wat wijst op een redelijk hoge fragmentatiegraad van de slakken uit de sporen. De fragmentatiegraad ligt wel een stuk lager voor de metaalslakken uit de waterputten. De grootste slak weegt 1,1 kg en komt uit waterput 2. De sterke fragmentatie is niet erg bevorderlijk voor de determinatie van de metaalslakken, maar we kunnen zonder twijfel stellen dat deze afkomstig zijn van ijzerproductie. De morfologische kenmerken zijn doorgaans voldoende goed behouden om een bepaald type van ijzerslak toe de schrijven aan de fragmenten. Zo kunnen er zowel vloeislakken als smeedhaardbodems onderscheiden worden, waarbij we kunnen stellen dat zowel het primaire smelten van het ijzererts als de secundaire raffinage en het smeden van de ijzerwolf op deze site uitgevoerd werden. Het is echter niet uitzonderlijk dat minstens één kwart van de fragmenten niet gedetermineerd kon worden.

Vloeislakken

Vloeislakken zijn doorgaans gemakkelijk te herkennen door de compacte donkere grijszwart gekleurde homogene materie met een touwachtige vloeitextuur op het oppervlak, al dan niet met een blauwe schijn op het oppervlak. Vloeislakken hebben doorgaans weinig of geen inclusies, maar ondanks de

lage porositeit bevatten ze we wel grotere (langwerpig) luchtbellen. De breuk is eerder dof van kleur maar scherp.

Dit type van ijzerslak is zonder twijfel terug te vinden in Nijlen-*Mussenpad*. In totaal zijn 166 fragmenten, met een totaalgewicht van bijna 6 kg, als vloeislakken gedetermineerd. Met een gemiddeld gewicht van slechts 36 g per slak zijn deze fragmenten eerder klein, wat kenmerkend is voor vloeislakken die doorgaans gebroken aangetroffen worden. Door het kleine formaat zijn de morfologische kernmerken echter niet altijd duidelijk zichtbaar. Zo zijn er nog 42 fragmenten met een totaalgewicht van 595 g aanwezig die mogelijk ook als fragmenten van vloeislakken gedetermineerd kunnen worden.

Over het algemeen kunnen we stellen dat de fragmenten van vloeislakken sterk kunnen variëren in omvang en bij momenten bijzondere vormen kunnen aannemen door de vloeiingen van het slakkenmateriaal. Bijgevolg worden ze doorgaans beschreven als onregelmatig van vorm met een touwachtige of vloeitextuur aan de bovenzijde (Fig. 6.63). Toch zijn er in Nijlen enkele fragmenten van vloeislakken die een convexe of V-vormige onderzijde hebben, waarbij ze een mogelijk afkoelden in een uitholling in de aarde. Er zijn enkele fragmenten die een rood-roze verkleuring van het oppervlak vertonen, mogelijk door de oxidatie van de ijzercomponent in de slak tijdens het stollen van de materie. Andere fragmenten bevatten eveneens een zeker aandeel aan verglaasde mogelijk kalkrijke materie, mogelijk verglaasde brandstofasse die mee de oven uit vloeide. De vloeislakfragmenten zijn verder doorgaans redelijk vrij van inclusies en corrosieproducten, maar er zijn wel exemplaren die bedekt zijn met sediment of een porositeit aan het oppervlak vertonen door erosie van de materie.

De fragmenten vloeislakken wegen zelden meer 100 g of zijn doorgaans niet groter dan 5 cm x 2 cm. Ze komen vrijwel allemaal (82% bij gewicht) uit waterput 2. Slechts 35 fragmenten (408 g) vloeislak werden aangetroffen in 11 overige bodemsporen (uit de ijzertijd), met een gemiddeld gewicht van slechts 12 g per fragmentje. Deze worden gekenmerkt door een hoge fragmentatiegraad. De vele fragmenten uit waterput 2 zijn over het algemeen zwaarder en groter in omvang, en bevatten enkele bijzondere exemplaren.



Fig. 6.63: Fragmenten vloeislak uit waterput 2.

Uit waterput 2 werden enkele grotere en bijzonder gevormde fragmenten ijzerslak ingezameld. Twee van deze slakken hebben een ophoping aan de bovenzijde en kunnen als vulkaanvormig beschreven worden, met vloeiingen over het volledige oppervlak (Fig. 6.64). De onderzijde is convex en heeft een knobbelige en/of fijne afgeplatte vloeitextuur. Deze twee bijzondere fragmenten zijn mogelijk gevormd onder het tapgat aan de buitenzijde van de aftapoven. De slak vloeide uit de oven, mogelijk in een komvormige uitdieping in de bodem net naast de oven, en stolde terwijl de materie zich ophoopte in een soort trechtervorm. Het grootste exemplaar van deze vulkaanvormige vloeislakken weegt 856 g, en heeft een maximale diameter van 12 cm en een dikte van 8,5 cm, inclusief de ophoping. Een derde bijzonder fragment is eveneens een stuk groter en zwaarder dan de overige vloeislakken. Het fragment oogt als een onregelmatige massa met de kenmerkende vloeitextuur, maar onderscheidt zich in het bijzonder door de aanwezigheid van een gebogen of concave zijde met resten aardewerk. Het ziet ernaar uit dat verschillende vloeiingen van slakkenmateriaal samensmolten en als een massa tegen de ovenwand aan stolden, wat resulteerde in een concave indruk met aardewerkresten. Dit fragment weegt 268 g en meet 10,5 cm x 6,5 cm x 4,5 cm (Fig. 6.65).

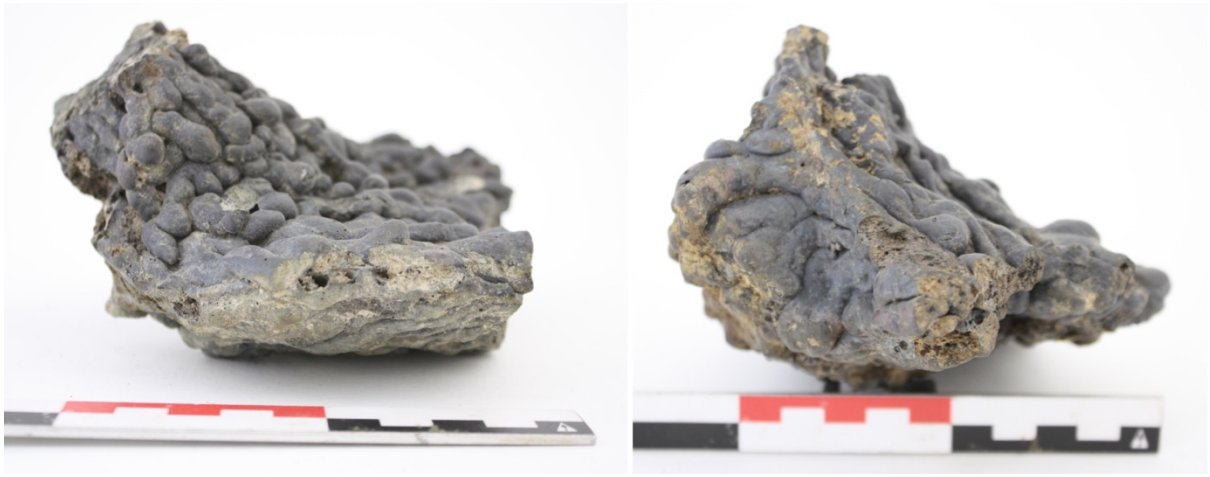


Fig. 6.64: Vulkaanvormige vloeislakken uit waterput 2.



Fig. 6.65: Bijzonder gevormd fragment vloeislak met resten aardewerk uit waterput 2.

Uit waterput 2 werd eveneens een groot plano-convex fragment ijzerslak van 970 g ingezameld met een vrijwel vlakke of licht knobbelige bovenzijde en knobbelige onderzijde (Fig. 6.66). Het stuk meet 11,5 cm x 10 cm en heeft een dikte van 4 cm, en is vrijwel vrij van corrosie- of secundaire producten. Het oppervlak heeft een donkere grijszwarte kleur met rood-roze verkleuringen en glanzende zones. De zijden zijn allemaal gefragmenteerd en tonen een donkere grijszwarte compacte materie met een kristallijne textuur en langwerpige luchtbellen. De porositeit is eerder beperkt, maar neemt toe naar

de bovenzijde. De corrosie van dit fragment beperkt zich tot een roestige verkleuring van de materie in een redelijk verse breuk. Langs deze zijde lijkt echter een kleine hoeveelheid aan resten van aardewerk onderaan bewaard te zijn. Verschillende morfologische aspecten wijzen op de mogelijkheid dat dit zware fragment te determineren is als een smeedhaardbodem. Er zijn echter ook verschillende aspecten zoals de compactheid van de materie, de langwerpige luchtbellen, het vrijwel ontbreken van inclusies en andere secundaire producten, en de kleur en samenstelling van het oppervlak die dan weer de mogelijkheid naar voor schuiven dat dit fragment een voorbeeld is van een redelijk grote hoeveelheid afgetapte ijzerslak dat langzaam in een komvormige uitdieping naast de oven tot een plano-convexe massa kon afkoelen. De resten aardewerk zouden zo eventueel afkomstig kunnen zijn van de buitenzijde van de oven. Deze gefragmenteerde zijde is immers mogelijk concaaf van vorm, passend met de ronding van de ovenstructuur.



Fig. 6.66: Plano-convex gevormde vloeislak uit WP2.

De doorsnedes van twee fragmenten vloeislak (Fig. 6.67) tonen een homogene fijnkorrelige materie met lichte schakeringen in de doffe donkergrijs-zwarte kleur. Deze schakeringen zijn lokaal duidelijk af te lijnen en kunnen bijgevolg toegewezen worden aan de ophoping van verschillende vloeiingen, mogelijk met een licht variabele samenstelling. De doorsnedes vertonen eveneens een relatief lage porositeit, maar in één van de voorbeelden zijn de grotere luchtbellen (kenmerkend voor de vloeislakken) duidelijk aanwezig. Het kleurverschil tussen beide fragmenten is eenvoudigweg toe te schrijven aan een variatie in de samenstelling van de materie, waarbij het donkerste fragment (staal NIJ WP2 Z17 St1) opvallend armer is in calcium en mogelijk slechts minimaal in aanraking kwam met de brandstof, i.e. houtskool.



Fig. 6.67: Doorsnedes van fragmenten vloeislak uit WP2 (Stalen NIJ WP2 Zx6 St1 (links) & NIJ WP2 Z17 St1 (rechts).

Smeedhaardbodems

Onder de ijzerslakken zijn er ca. 262 fragmenten met een totaalgewicht van ca. 44 kg die als (potentiële) smeedslakken geclassificeerd kunnen worden. Deze betreffen voornamelijk smeedhaardbodems (ca. 164 fragmenten, ca. 28,5 kg), al dan niet volledig, gefragmenteerd of slechts fragmenten. Verder is sprake van een grote hoeveelheid potentiële smeedslakken (ca. 56 fragmenten, ca. 7,7 kg) die met enige twijfel mogelijk als smeedhaardbodems of fragmenten van smeedhaardbodems geïdentificeerd kunnen worden.

De smeedhaardbodems zijn voornamelijk als fragmenten bewaard. Er zijn 35 volledige of bijna volledige smeedhaardbodems aangetroffen. De grootste exemplaren wegen gemiddeld 578 g, maar het gewicht kan uiteenlopen van slechts 134 g tot 1117 g. De maximale diameter is gemiddeld 11,6 cm, en varieert tussen 7,5 cm en 16 cm. Ook de dikte varieert danig, van 1,5 cm tot 5,5 cm, met een gemiddelde van 2,2 cm. Het gewicht en de afmetingen van deze smeedhaardbodems tonen aan dat er een zeer grote variatie in omvang en wellicht ook samenstelling van de materie bestaat. Ook in morfologisch opzicht zijn de (potentiële) smeedhaardbodems sterk verschillend, maar doorgaans vertonen ze wel de kenmerkende plano-convexe vorm. De vlakke bovenzijde vertoont doorgaans een golvende of licht knobbelige textuur. Een bolvormige onderzijde heeft de kenmerkende knobbelige textuur. De bovenzijde kan echter ook concaaf zijn, en de onderzijde kan wel ook aanzienlijk wat houtskoolinclusies bevatten. De randen zijn afgerond of eerder onregelmatig, maar geregeld ook gefragmenteerd of vertonen vaak meerdere (smeed)lagen. Occasioneel kan langs de rand ook een laag verglaasde brandstofasse en/of resten aardewerk waargenomen worden. Ook zijn er heel wat voorbeelden met een dunne laag verglaasde kalkrijke materie op het oppervlak, of rood-paarse verkleuringen.

Het slakkenmateriaal zelf lijkt doorgaans compact en homogeen in samenstelling met een licht glanzend donkergrijs-zwart oppervlak, maar wordt regelmatig bedekt door een zandige korstlaag die bij momenten redelijk dik is en zo onregelmatige vormen kan beklemtonen. Er zijn ook verschillende fragmenten die een minder compacte en eerder vesiculaire samenstelling hebben. Corrosie speelt hier dan vaak parten. Verder zijn er eveneens voorbeelden gekend met een lichtere kleur, wat kan wijzen op een verhoogd aandeel van silica en/of calcium.

Deze verscheidenheid onder de plano-convexe smeedhaardbodems is niet ongewoon, en is ook in Nijlen sterk aanwezig. Het is moeilijk een duidelijk onderscheid te maken tussen types, maar mogelijk kunnen we de smeedhaardbodems onderverdelen in:

1. éénvoudige compacte plano-convexe smeedhaardbodems, gewoonlijk bedekt met een laag sediment of zanderig ijzeroxide
2. (onvolledige) smeedhaardbodems met resten haardwand
3. dunne compacte concaaf-convexe smeedhaardbodems met rood-paarse verkleuring
4. silica- of kalkrijke dunne concaaf- of plano-convexe smeedhaardbodems met onregelmatige maar afgeronde randen, houtskoolinclusies en
5. knobbelige smeedhaardbodems, gekenmerkt door een zeer knobbelig of zelfs globulair oppervlak en samenstelling.

Aan de hand van enkele voorbeelden trachten we hieronder de verschillende vormen te onderscheiden en te beschrijven. Mogelijk kunnen deze verschillen toegeschreven worden aan specifieke handelingen van de smid, maar het is moeilijk te achterhalen wat deze precies geweest zijn.

Het zwaarste exemplaar van de **plano-convexe smeedhaardbodems** uit Nijlen weegt 1,1 kg en heeft afmetingen van 16 cm x 13 cm en een dikte van 4,7 cm (WP2, V.11, Fig. 6.68). De slak heeft een concaaf-convexe vorm met afgeronde randen en een ophoping van knobbelige ijzerslak langs de zijkant onderaan. Het oppervlak is bedekt met een dikke roestkleurige zandlaag. De uitholling in het oppervlak bovenaan is het resultaat van de luchtstroom. Een ander kenmerkend, maar kleiner exemplaar heeft een plano-convexe vorm met vlakke bovenzijde, een bolvormige onderzijde met knobbelige textuur en enkele houtskoolinclusies, en afgeronde randen (WP2, V.16-1, Fig. 6.69). Dit vrijwel volledige voorbeeld weegt 635 g, heeft een diameter van 10-12 cm en een dikte van 3,5 cm. Met de roestkleurige zandlaag op het oppervlak is het moeilijk met zekerheid uit te sluiten, maar mogelijk zijn er langs de zijkant twee smeedlagen waar te nemen waarbij de onderste laag langs één zijde een uitsteeksel vertoont. Ook smeedhaardbodem V.x8 (WP2, Fig. 6.70) heeft de kenmerkende plano-convexe vorm en is bedekt door een roestkleurige zandlaag. Deze verbergt ogenschijnlijk een homogene compacte ijzerslak met een licht glanzend oppervlak. Langs de zijkant kunnen mogelijk meerdere smeedlagen onderscheiden worden, waarbij de onderste groter is in omvang. De doorsnede van dit voorbeeld toont inderdaad een homogene en compacte maar eveneens poreuze materie. Deze porositeit neemt sterk toe naar de onderzijde. Ook zijn er schakeringen in de grijs-zwarte kleur: naar zowel de boven- als onderzijde toe zijn er meer donkere zones of lagen te zien. Deze gelaagdheid is echter niet direct te relateren aan de verkleuring die te zien is op de buitenzijde van de slak. Dat laatste lijkt het gevolg van de aanwezigheid van een grote houtskoolinclusie die duidelijk zichtbaar is in de doorsnede.
Een ander exemplaar is V.34 (WP2, Fig. 6.71) met opnieuw een plano-convexe tot licht concaaf-convexe vorm. Ook deze slak is bedekt door een roestkleurige zandlaag. De slakkenmaterie oogt homogeen en compact, maar op het oppervlak bovenaan is een zone met grotere luchtbellen en een rode verkleuring waar te nemen. Langs de verdikte randen zijn zones met verglaasde kalkrijke materie of brandstofasse waar te nemen. Ook langs de onderzijde zijn een kalkrijke korstlaag en houtskoolinclusies waarneembaar. De doorsnede van dit voorbeeld toont opnieuw een compacte en redelijk homogene materie. Deze materie heeft nogal een grove korrel, met mengeling van donkergrijs-zwarte en eerder grijs-gele kleuren en oogt rijk aan silica of calcium. Centraal zit er net onder het oppervlak een grote horizontale luchtbel. Verder is de porositeit eerder beperkt maar ze neemt wel toe naar onder toe.

Bovenstaande exemplaren zijn voorbeelden van relatief eenvoudige smeedhaardbodems. Deze planoconvexe ijzerslakken zijn zeer waarschijnlijk het resultaat van één of meerdere smeedsessies. Door een sterke luchtstroom kan er zich een holte in het bovenste oppervlak vormen. In Nijlen werden niet bijzonder vaak resten van aardewerk aan de randen aangetroffen, waardoor het mogelijk is dat ze zich niet altijd tegen de haardwand aan vormden. Door verschillende factoren tijdens het smeedproces kan de omvang en vorm van smeedhaardbodems echter zeer sterk variëren. Dit wordt verder duidelijk gemaakt aan de hand van de bespreking van enkele andere voorbeelden hieronder.



Fig. 6.68: Plano-convexe smeedhaardbodem NIJ WP2 V11: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.69: Plano-convexe smeedhaardbodem NIJ WP2 V.16-1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.70: Plano-convexe smeedhaardbodem NIJ WP2 V.x8: zijaanzicht (links) en doorsnede (rechts).



Fig. 6.71: Plano-convexe smeedhaardbodem NIJ WP2 V.34: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven), zijaanzicht (links onder) en doorsnede (rechts onder).

Fragmenten V.x2 en V.x7 (beide uit WP2) zijn voorbeelden van **smeedhaardbodems met resten aardewerk** langs de rand. Ze zijn geen volwaardig gevormde smeedhaardbodems, maar zijn in hun hoedanigheid wel (bijna) volledig en zijn gehecht aan de haardwand. Het betreft enerzijds (vb. V.x2, Fig. 6.72) een dun bijna plat of licht concaaf-convex fragment met een golvend oppervlak bovenaan en een knobbelige onderzijde. Het fragment is verder eerder langwerpig en onregelmatig in vorm met globulaire randen. Langs één zijde is een dikke laag aardewerk bewaard die verder doorloopt tot bijna het midden van de onderzijde. De bovenzijde wordt gekenmerkt door een laag verglaasde kalkrijke materie. Dit fragment weegt slechts 201 g, een meet 8 cm x 10 cm en heeft een dikte van 2,3 cm. Het andere exemplaar (V.x7, Fig. 6.73) vertoont een plano-convexe vorm met centraal een horizontale luchtbel. Eén zijde is bedekt met een laag aardewerk, i.e. resten van de haardwand, en een grote hoeveelheid verglaasde brandstofasse. Deze fragmenten zijn voorbeelden van smeedhaardbodems die zich tegen de haardwand hebben gevormd. Beide zijn mogelijk het resultaat van een eerder kortstondige smeedsessie waarbij geen volwaardige plano-convexe smeedhaardbodems gevormd werden.



Fig. 6.72: Smeedhaardbodem met resten aardewerk V.x2: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.73: Smeedhaardbodem met resten aardewerk V.x7: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).

Verder zijn er enkele redelijk **dunne slakken** aanwezig met een **concaaf-convexe** vorm die gewoonlijk slechts minimaal bedekt zijn met sediment en/of corrosieproducten (vb. WP2, V.x12, Fig. 6.74; V.x7, Fig. 6.73; V.x15, Fig. 6.75). Het slakkenmateriaal is duidelijk zichtbaar en is doorgaans compact en homogeen in samenstelling, met een donkergrijs-zwarte kleur. Het oppervlak vertoont geregeld **rood-**paarse verkleuringen die mogelijk toegeschreven kunnen worden aan afkoeling onder oxiderende omstandigheden. De concave vorm wordt wel eens benadrukt door een verdikte rand en is het resultaat van een continue en sterke luchtstroom aan het oppervlak. De bolvormige onderzijde heeft gewoonlijk de kenmerkende knobbelige textuur en is al dan niet bedekt met resten van de haardvulling, i.e. brandstofasse. De doorsnede van voorbeeld V.x15 (Fig. 6.75) toont een compacte en homogene slakkenmaterie met een porositeit die toeneemt naar de onderzijde en randen toe. Enkele houtskoolinclusies zijn waar te nemen in deze verdikte randen. De doorsnede van voorbeeld V.x12 (Fig. 6.74) toont in tegenstelling tot het vorige voorbeeld wel een gelaagde variatie in de grijszwarte kleur met een lichtere laag bovenaan, mogelijk door hogere hoeveelheden calcium of silica. De rood-paarse verkleuring van het oppervlak is ook duidelijk waarneembaar in de doorsnede als een dunne zeer donkere laag bovenaan en oogt als een vorm van corrosie in combinatie met korstvormige corrosieproducten centraal op het concave oppervlak. Deze zijn mogelijk gecorrodeerde fragmentjes hamerslak. Deze smeedhaardbodems vormden zich mogelijk op de bodem van een ondiepe smeedhaard ter hoogte van de blaaspijp die op de rand geplaatst werd. De smeedhaard werd mogelijk niet bekleed met aardewerk. De grootste exemplaren van deze smeedhaardbodems hebben een diameter van 10-12 cm en een dikte van 1,5-3,5 cm. Het gewicht is sterk afhankelijk van de dikte. Zo weegt voorbeeld V.x12 641 g, terwijl het andere voorbeeld V.x7 slechts 283 g weegt.



Fig. 6.74: Dunne smeedhaardbodem met een concaaf-convexe vorm V.x12: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).



Fig. 6.75: Dunne smeedhaardbodem met een concaaf-convexe vorm V.x15: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

V.19-1 & V.19-2 (WP 2, Fig. 6.76 en Fig. 6.77) zijn voorbeelden van eerder dunne concaaf- of plano-convexe smeedhaardbodems met onregelmatige maar afgeronde randen. Op het oppervlak zijn zones met verglaasde kalkrijke materie, of verglaasde brandstofasse, waar te nemen, en dat voornamelijk naar de randen toe. De dunne zandige korstlaag evolueert bij momenten tot een dikke roestkorst en bevat aan de onderzijde van de voorbeelden een grote hoeveelheid houtskoolinclusies. De doorsnede van V.19-2 (Fig. 6.77) toont een poreuze maar redelijk homogene materie met kleurschakeringen van donkergrijs-zwart naar grijsgroen. Dit voorbeeld is rijk in calcium of silica, wat afkomstig is van het hoge aandeel aan brandstofasse. Ook zitten er enkele houtskoolinclusies in het fragment. De onderzijde van de doorsnede wordt gekenmerkt door een donker gecorrodeerd oppervlak. Deze corrosie dringt door tot in de onderste helft van de doorsnede. Deze smeedhaardbodems vormden zich mogelijk op de bodem van de haard en stonden daarbij in nauw contact met de brandstof en brandstofasse. Mogelijk gaat het om smeedhaardbodems, maar we kunnen niet uitsluiten dat ze de restanten zijn van de ijzerslak en brandstof op de bodem van de ovenhaard. Deze twee voorbeelden wegen respectievelijk 481 en 477 g, en hebben een maximale diameter van 14,5 en 15 cm en een dikte van 2,5 en 2,8 cm.



Fig. 6.76: Dunne concaaf- of plano-convexe smeedhaardbodem met onregelmatige maar afgeronde randen V.19-1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).

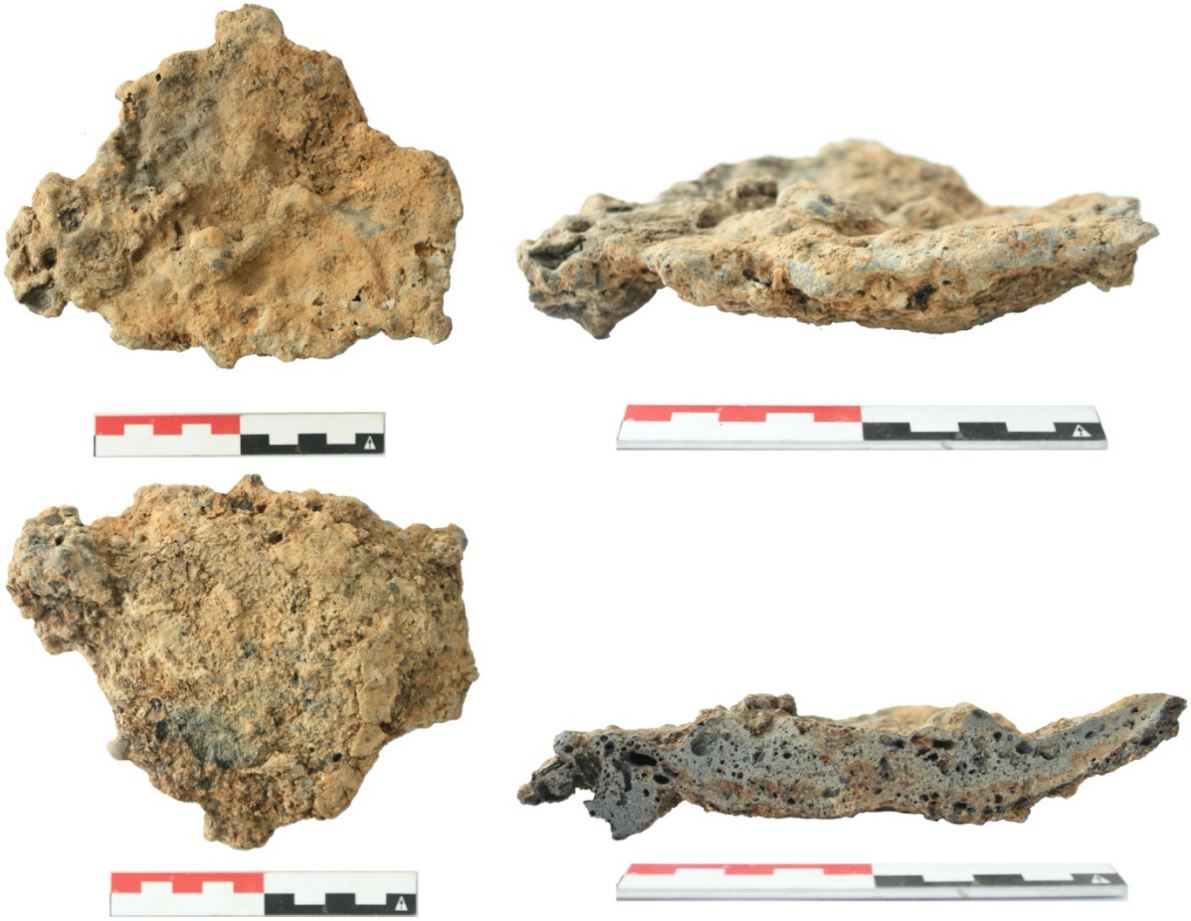


Fig. 6.77: Dunne concaaf- of plano-convexe smeedhaardbodem met onregelmatige maar afgeronde randen V.19-2: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

Er zijn verschillende fragmenten met een **knobbelig of globulaire/vesiculaire** samenstelling (vb. WP 2, V.x6, Fig. 6.78). Ze beschikken doorgaans over een onregelmatige maar overwegend plano-convexe vorm. De relatief platte bovenzijde heeft een golvend of knobbelig oppervlak en de bolvormige onderzijde heeft een uitgesproken knobbelig of globulaire textuur, zoals onregelmatige vloeiingen. In deze onderzijde zijn eventueel afdrukken van houtskool zichtbaar. Occasioneel zijn er resten aardewerk bewaard gebleven, al dan niet op een afgevlakte rand. De slakken kunnen worden geïnterpreteerd als smeedhaardbodems. Het zwartgrijze slakkenmateriaal is duidelijk zichtbaar en toont geregeld rood-paarse verkleuringen. De materie zelf oogt sterk homogeen maar licht poreus en de knobbelige/globulaire samenstelling gaat gepaard met de aanwezigheid van grotere luchtbellen. Er zijn eveneens zones zichtbaar met verglaasde brandstofasse. Corrosie beperkt zich tot roestige verkleuringen van de materie en hier en daar een dunne korstlaag. In dit opzicht tonen deze fragmenten grote gelijkenissen met de concaaf-convexe smeedhaardbodems met minimale sediment- en corrosieproducten en de rood-paarse verkleuringen van het oppervlak, of de onvolledig gevormde smeehaardbodems met resten van de haardwand. Anderzijds ogen ze ook wel eens als een onregelmatige of vesiculaire versie van de vloeislak wat wel eens verwarring kan veroorzaken in de determinatie van deze. De doorsnede van een knobbelig voorbeeld (WP 2, V.31, Fig. 6.79) toont een compacte en homogene materie, donkergrijs-zwart in kleur. De porositeit spreidt zich over de gehele doorsnede, met enkele grotere luchtbellen net onder het oppervlak. Ook zijn er enkele

houtskoolinclusies te zien. Op zich oogt de materie in de doorsnede niet heel erg anders dan deze van de vloeislakken, maar ze is eveneens gelijkaardig aan deze van de compacte smeedhaardbodems, zij het met een hogere porositeit.



Fig. 6.78: Knobbelige of globulaire/vesiculaire fragmenten V.x6: bovenaanzicht (bovenaan), onderaanzicht (onderaan).

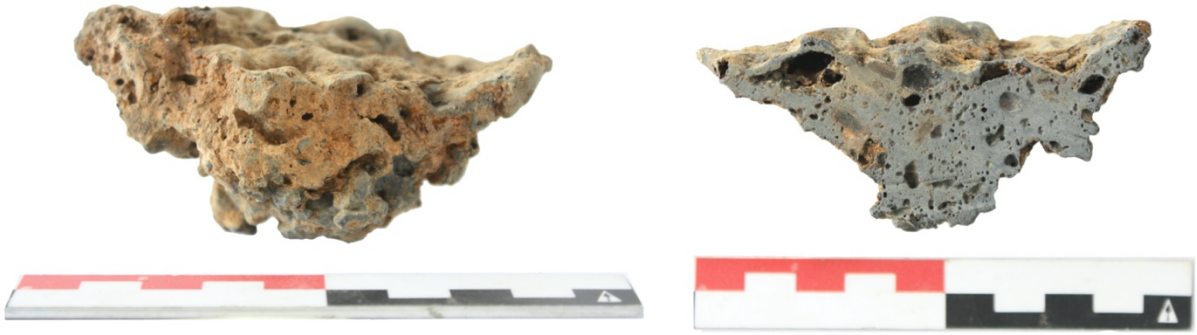


Fig. 6.79: Knobbelig fragment V.31: zijaanzicht (links) en doorsnede (rechts).

Er waren ook enkele potentiële smeedhaardbodems waarbij de plano-convexe vorm moeilijk te onderscheiden is, mede omwille van de zeer dikke laag aan roestkleurige zandige materie op het oppervlak. Voorbeeld V.52 (WP2, Fig. 6.80) toont toch een compacte materie. In combinatie met het golvend of licht globulair oppervlak bovenaan en de knobbelige textuur onderaan leidt dit naar de determinatie van deze grote brok als smeedhaardbodem. De eerder onregelmatige vorm is mogelijk het resultaat van de ophoping van twee smeedlagen van verschillende omvang. Dit groot onregelmatig voorbeeld weegt 1 kg, en meet 13 cm x 12,5 cm met een totale dikte van 5,5 cm. Een ander voorbeeld is V.16-2 (WP2, Fig. 6.81). Deze zware ijzerslak oogt in eerste instantie convex-convex qua vorm maar is mogelijk een langwerpige plano-convexe ijzerslak met een ophoping bovenop. Langs een korte rand van dit voorbeeld zijn ook resten aardewerk bewaard gebleven. Deze smeedhaardbodem, dewelke bedekt is met een zeer dikke laag roestkleurige zandlaag, weegt 773 g, en meet 12 x 8 cm en is 6,5 cm dik.



Fig. 6.80: Smeedhaardbodem met een moeilijk te onderscheiden plano-convexe vorm V.52: bovenaanzicht (links) en onderaanzicht (rechts).



Fig. 6.81: smeedhaardbodem met een moeilijk te onderscheiden plano-convexe vorm V.16-2: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven), zijaanzicht (onderaan).

De verschillende vormen van ijzerslakken die hierboven besproken werden, zijn mogelijk allemaal het resultaat van smeedactiviteiten. De diversiteit van deze voorbeelden duidt niet op een uniformiteit in de *modus operandi* maar eerder op enige variatie in de handelingen en keuzes van de smid, of eventueel de werking van verschillende smeden. Ook kunnen de verschillen qua morfologie en samenstelling eventueel toegeschreven worden aan diverse stappen in het productieproces, zoals de raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het ijzer. Dit laatste blijft echter een moeilijk zaak in de studie van de ijzerslakken. De variabiliteit binnen deze groep van smeedhaardbodems en de hoge graad van fragmentatie maken het moeilijk te stellen hoeveel fragmenten concreet als smeedhaardbodems gedetermineerd kunnen worden. Zo is het ook vrijwel onmogelijk om een gemiddeld gewicht en afmetingen te bepalen als referentiepunt, alsook om een allesomvattende beschrijving van de smeedhaardbodem uit te werken. De absolute meerderheid van de ijzerslakken in deze groep van smeedhaardbodems zijn immers ook maar fragmenten.

De smeedhaardbodems, in hun volledige vorm of als fragment, werden voornamelijk aangetroffen in waterput 2 (S154, ca. 116 fragmenten, ca. 30 kg) en waterput 1 (S154, ca. 62 fragmenten, ca. 4,8 kg), maar ook in verschillende sporen verspreid over de site (ca. 75 fragmenten, ca. 5,4 kg). De ijzerslakken uit waterput 1 zijn vrijwel allemaal smeedhaardbodems. Er werden geen vloeislakken gevonden in deze waterput. Indien we ervan uitgaan dat de metallurgische resten uit deze context van eenzelfde activiteit resulteren, waarbij geen smelten van het ijzererts plaatsvond, kunnen we aannemen dat de enkele fragmenten die werden gedetermineerd als houtskoolrijke smeedhaardbodem of ovenbodem fragmenten mogelijk alsnog als smeedhaardbodems dienen gezien te worden.

Houtskoolrijke ijzerslakken

Zoals hierboven beschreven zijn er verschillende voorbeelden van plano-convexe ijzerslakken die een aanzienlijke hoeveelheid aan houtskoolinclusies en verglaasde brandstofasse bevatten. Ze kunnen worden aanzien als mogelijke smeedhaardbodems, maar we kunnen niet uitsluiten dat deze de restanten zijn van de ijzerslak en brandstof op de bodem van de ovenhaard. Dit leidt tot de verschillende eerder platte en onregelmatige ijzerslakken die werden geclassificeerd als smeed- of ovenbodems. Deze onderscheiden zich van de houtskoolrijke smeedhaardbodems door de extreme hoeveelheid aan houtskool. Er is ook geen duidelijke plano-convexe vorm waar te nemen. Ze zijn eerder plat en zowel de boven als onderzijde van deze ijzerslakken hebben een knobbelige textuur. Deze zijn ook bedekt door een redelijk dikke roestige laag (vb. WP2, V.19, Fig. 6.82 & V.20, Fig. 6.83). Er zijn ook onregelmatig gevormde fragmenten die een gelijkaardige samenstelling lijken te hebben. Bij het doorsnijden van één voorbeeld (V. 20) is een redelijk homogene maar sterk poreuze slakkenmaterie waar te nemen. Er is niet echt een variatie in de donkergrijs-zwarte kleur op te merken, noch enige vorm van gelaagdheid. Wel is er een grote hoeveelheid aan houtkoolinclusies, die zich voornamelijk onderaan van de doorsnede situeren.



Fig. 6.82: IJzerslak V.19: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven), zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.83: IJzerslak V.20: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

De grote hoeveelheid aan houtskool en de onregelmatige vormen doen ons veronderstellen dat deze ijzerslakken eventueel bij andere activiteiten dan het smeden tot stand zijn gekomen. Daar er op de site ook duidelijke aanwijzingen zijn voor primaire reductie van ijzererts in de aftapoven wordt de mogelijkheid naar voren geschoven dat deze houtskoolrijke ijzerslakken eventueel de restanten van de aftapoven zijn. Het vloeibare slakkenmateriaal dat niet uit de oven getapt werd, koelde in de ovenhaard af met de resten van de brandstof. De hoge porositeit is mogelijk te verklaren door de aanwezigheid van het houtskool en de trage afkoeling van de ijzerslak. In het ensemble werden zo'n 23 fragmenten (ca. 3,7 kg) als potentiële ovenbodems geclassificeerd. Er zijn mogelijk echter veel meer fragmenten die als dusdanig geïdentificeerd kunnen worden.

Onregelmatige en non-diagnostische (slak)fragmenten

Zoals op elke site zijn er heel wat ijzerslakken (ca. 77 fragmenten, ca. 2 kg) die door de hoge graad van fragmentatie en/of aanwezigheid van corrosieproducten niet toe te schrijven zijn aan een bepaald type. In tegenstelling tot de andere *case studies* is het aandeel van onregelmatige en non-diagnostische fragmenten in Nijlen-Mussenpad eerder beperkt. Wel zijn er een grote hoeveelheid aan eerder onduidelijke fragmenten die met enige twijfel aan het type van de vloeislak (ca. 44 fragmenten, ca 604 g) of smeedhaardbodem (ca. 56 fragmenten, ca. 7,7 kg) toegeschreven werden.

Technisch aardewerk

In totaal konden ca. 138 fragmenten (ca. 2,9 kg) aardewerk onderscheiden worden, die aan hoge temperaturen blootgesteld werden. De binnenzijde vertoont steevast een poreus versinterd of hevig verglaasd oppervlak, al dan niet met een laag verglaasde brandstofasseslak. Het oppervlak van de fragmenten is steeds gefragmenteerd. Deze eigenschap zou kunnen aangeven dat de fragmenten aardewerk afkomstig zijn van de smeedhaard, en niet van een smeltoven of dergelijke structuur. Bij een smeltoven kan men mogelijk fragmenten verwachten met een bewaard oppervlak aan de buitenzijde, al moeten we in overweging nemen dat de buitenzijde van de structuur slechts minimaal aan hoge temperaturen blootgesteld werd en dus geen verglazing vertoonde. Dit oppervlak kan bijgevolg onderhevig zijn geweest aan postdepositionele processen en afgebrokkeld zijn. De verglaasde binnenzijden hebben door de aanwezigheid van de verglaasde brandstofasse een eerder witte kleur. In tegenstelling tot de andere *case studies* zijn er niet echt fragmenten gekend met een laag van ijzerslak aan de binnenzijde. Wel zijn er ijzerslakken gekend met een redelijk dikke laag aardewerk langs de rand.

Door de fragmentarische aard van de stukken is een duidelijke vorm niet te onderscheiden. Eén van de grootste fragmenten meet 11 cm x 8,5 cm, is 3 cm dik en weegt 255 g (V16-4, WP2, Fig. 6.84). De bodem van de smeedhaard werd mogelijk dus bekleed met een laag aardewerk van een paar centimeters dik. We kunnen echter niet uitsluiten dat dit fragment dan toch niet afkomstig is van de wand van de aftapoven, die doorgaans dikker is dan de bekleding van de smeedhaard. Een klein fragmentje aardewerk dat in een ander spoor werd aangetroffen (V.S43-2, S43, Fig. 6.85) toont een circulaire uitdieping in de rand. Dit is mogelijk het deel van de haardbekleding waar de blaaspijp zich situeerde. Uit ditzelfde spoor werden ook een achttal fragmenten compacte smeedhaardbodems ingezameld met verglaasde materie en aardewerk resten, waaronder één vrijwel volledige smeedhaardbodem met opstaande rand.

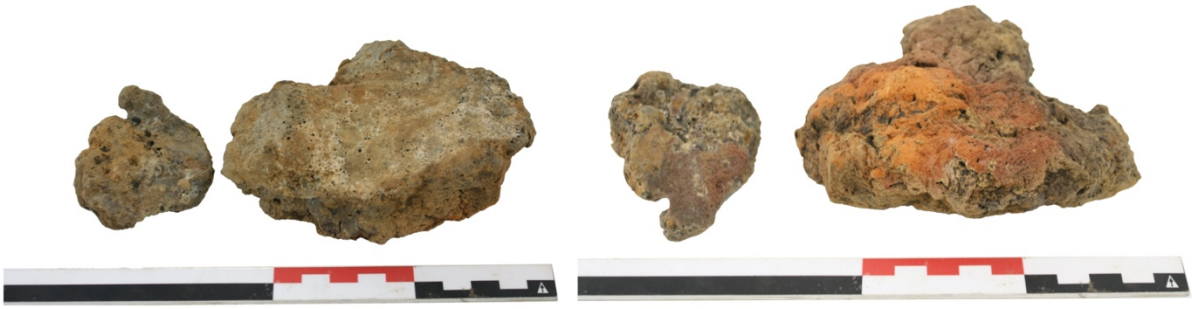


Fig. 6.84: Technisch aardewerk V16-4: binnenkant (links) en buitenkant (rechts).



Fig. 6.85: Technisch aardewerk V.S43-2: binnenkant (links) en buitenkant (rechts).

Overig metallurgisch materiaal

In Nijlen zijn er ook een aantal fragmenten versinterde en verglaasde **brandstofasse** aangetroffen (ca. 23 fragmenten, ca. 1,3 kg). De brandstofassesintels zijn gewoonlijk onregelmatige brokjes met een eerder minimale graad van verglazing. De brandstofasseslakken zijn doorgaans heviger verglaasd en vertonen geregeld een platte of eventueel concaaf-convexe vorm met afgeronde onregelmatigheden. Langs de onderzijde kunnen ze heel wat houtkoolinclusies bevatten. De brandstofasseslakken zijn het resultaat van het samensmelten van de brandstofassen op de bodem van de smeed- of ovenhaard, waarbij ze al dan niet de komvorm kunnen aannemen. Daar ze in contact komen met de wandbekleding en de ijzerslakken kunnen de brandstofasse-sintels en -slakken ook resten of lagen aardewerk of ijzerslak bevatten. Vaak zijn het slechts fragmenten, maar de grotere vrijwel volledige exemplaren zijn door de vormelijke kenmerken heel gelijkaardig aan de silica- of calciumrijke ijzerslakken met houtskoolinclusies. Een onderscheid kan doorgaans gemaakt worden op basis van het lagere gewicht, de lichte kleur en de porositeit van de materie, maar in Nijlen is dit niet altijd eenvoudig. Voor enkele exemplaren is het moeilijk te stellen of de ijzerslak of de verglaasde brandstofasse de overhand neemt in de samenstelling.

Tijdens de opgraving werden ook 10 fragmentjes en brokken (ca. 1 kg) natuursteen ingezameld en geclassificeerd als metallurgisch materiaal. Twee brokken (ca. 776 g) kunnen gedetermineerd worden als ijzeroer. Het grootste exemplaar weegt zo'n 670 g. Mogelijk heeft ijzeroer gediend heeft als ijzererts voor de metallurgische activiteiten die op deze site hebben plaatsgevonden. De overige fragmenten zijn mogelijk limoniet.

6.3.1.4 Microstructurele en chemische analyse van de ijzerslakken

Chemische samenstelling (pXRF)

Twaalf ijzerslakken werden geselecteerd voor verdere analyse en doormidden gezaagd. Dit is eerder een beperkt aantal gezien het totale aantal vondsten, maar aan de hand van de macroscopische studie konden reeds duidelijke types van ijzerslakken onderscheiden worden, waardoor het niet nodig werd geacht een groter aantal slakken te onderwerpen aan een chemische en microstructurele analyse. De selectie betreft enkele voorbeelden van vloeislakken, een fragment van een potentiële ovenbodem, enkele smeedhaardbodems en ook enkele fragmenten van dusver moeilijk te detecteren types. Deze twaalf doorsnedes werden geanalyseerd aan de hand van pXRF.

Op het eerste gezicht zijn er geen grote verschillen in de chemische samenstelling tussen de slakken van de *case studies* waar te nemen. De metingen van de primaire componenten van de ijzerslak, i.e. ijzer, silica en aluminium, vertonen gelijkaardige waarden. In de ijzerslakken van Nijlen liggen de gemiddelde waarden voor aluminium wel wat hoger. Verder vertonen de slakken van Nijlen een eerder onregelmatig patroon in de chemische samenstelling. Ondanks het feit dat er duidelijk verschillende types van ijzerslakken onderscheiden kunnen worden op macroscopisch niveau, is dit onderscheid niet waar te nemen in de resultaten van de pXRF-studie. In contrast met de slakken uit de ijzertijd en de Romeinse periode lijken de verbanden tussen bepaalde elementen niet meer waar te nemen. Opvallend hierbij is dat er ook geen correlatie meer waargenomen kan worden tussen de drie primaire

elementen in de ijzerslakken, i.e. ijzer, aluminium en silica, en/of de andere elementen. Dat geldt ook voor de verhouding tussen ijzer en mangaan.

In de fragmenten van Nijlen vertonen de metingen voor mangaan algemeen relatief hoge waarden, maar extreem hoog voor wat betreft het houtskoolrijke fragment NIJ WP2 Z20 St1, onafhankelijk van de metingen voor ijzer. Is het mogelijk dat dit mangaan afkomstig is van een hogere dosis aan ertsmineralen in dit type van ijzerslak dat eventueel als ovenbodem geïdentificeerd kan worden? Gaat het dan om restproducten die zich onderaan de aftapoven verzamelden bij afloop van het smeltproces? Ook de waarden voor aluminium liggen relatief hoog, maar ze tonen geen direct verband met deze voor mangaan of de andere elementen. De willekeurigheid in de chemische samenstelling van de ijzerslakken van Nijlen is mogelijk te verklaren door het voorkomen van duidelijk verschillende types ijzerslakken in een eerder kleine selectie. Het is zeer waarschijnlijk dat tijdens de verschillende fases van het productieproces bepaalde mineralen werden toegevoegd als vloeimiddel, waardoor de patronen moeilijk waar te nemen zijn binnen een dergelijke beperkte hoeveelheid analyses. De aanwezigheid van volwaardige vloeislakken wijst echter op een grondige technologische kennis van de ijzersmelter.

Microstructurele samenstelling

Voor de microscopische studie werden stalen (ca. 1 cm^3) genomen van elf slakken. Zoals eerder aangehaald is variatie in zowel de chemische als microstructurele samenstelling van ijzerslakken geen abnormaliteit, zowel binnen eenzelfde ijzerslak als tussen de ijzerslakken onderling. De hoofdcomponenten van de microstructuur van ijzerslakken zijn steevast ijzersilicaten (doorgaans fayaliet, $2FeO.SiO_2$) ingebed in een glasachtige matrix (doorgaans anortiet, $CaAl_2Si_2O_8$), ijzeroxiden en al dan niet metallisch ijzer. Deze komen aan bod in zeer uiteenlopende hoeveelheden, samenstellingen en vormen, dewelke afhankelijk zijn van enerzijds de chemische samenstelling van de ruwe materialen en anderzijds de productieomstandigheden zoals de temperatuur, reducerende condities en afkoelsnelheid. Zo kunnen in de stalen van Nijlen enkele groepen onderscheiden worden die (gedeeltelijk) gerelateerd kunnen worden aan de verschillende types ijzerslakken die op macroscopisch niveau waar te nemen zijn. De vloeislakken zijn duidelijk te onderscheiden op basis van de microstructuur, maar het is niet eenvoudig om eventueel een onderscheid te maken tussen de smeedhaardbodems, potentiële ovenbodems of andere mogelijke types van ijzerslakken.

De stalen van vloeislakken (LV22PD43 en LV22PD44) onderscheiden zich van de andere door de zeer fijne microstructuur die wordt bepaald door fijne en kleine langwerpige ijzersilicaten en een relatief weinig glasachtige matrix. Dit wijst op en zeer snelle koeling van het slakkenmateriaal, wat te verwachten is bij ijzerslak dat meteen uit de oven vloeide en in openlucht afkoelt. Bij staal LV22PD43 oogt de microstructuur heel erg verglaasd met een marmerachtige structuur. Op basis van pXRF-analyse van dit staal kunnen we stellen dat dit het resultaat is van hogere waarden in aluminium en silica, wat mogelijk te verklaren is door een zekere wisselwerking met aardewerk, i.e. de ovenwand, of eventueel de toevoeging van een mineralen als vloeimiddel. In dit fragment zijn ijzeroxiden slechts minimaal aanwezig. In combinatie met de zeer hoge hoeveelheden aan silica en aluminium werd het ijzer mogelijk tot een maximum opgebruikt tijdens de vorming van de ijzerslak. Het is niet duidelijk of er dan voldoende ijzeroxide aanwezig was in de ovenlading om tot ijzer te kunnen reduceren. Indien

dit het geval was, werd een zeer goede scheiding van het metallisch ijzer en de ijzerslak bekomen. Er konden geen partikels van metallisch ijzer waargenomen worden in de microstructuur, en de ijzeroxiden komen enkel voor als uiterst kleine partikels gebonden aan de matrix, of als heel erg fijne lijnen die de vloeilagen van dit slaktype benadrukken. In staal LV22PD44 is deze gelaagdheid ook duidelijk waar te nemen, zowel in de microstructuur die steeds fijner wordt naar het oppervlak van de vloeilagen toe en het voorkomen van duidelijke lijnen van ijzeroxiden. IJzeroxiden komen in dit staal voor in normale hoeveelheden en in zeer uiteenlopende vormen die gerelateerd kunnen worden aan zeer reducerende (wustiet) of eerder oxiderende (magnetiet) omstandigheden. Deze indicatie van oxidatie is voornamelijk waar te nemen in zones naar het oppervlak van de vloeilagen toe, die blootgesteld werden aan de oxiderende omstandigheden buiten de smeltoven.

Het staal dat werd genomen van de houtkoolrijke ijzerslak of potentiële ovenbodem (LV22PD36) wijkt in samenstelling dan weer af van de andere door de dominante aanwezigheid van ijzeroxiden. Deze variëren van grotere stippen en vlekken naar reguliere dendritische structuren van ijzersilicaten, hetgeen wijst op een relatief trage afkoeling van het slakkenmateriaal. Er konden 12 partikels metallisch ijzer geteld worden op lage vergroting (x5). Deze microstructuur vertoont overigens grote gelijkenissen met deze van de plano-convexe ijzerslakken van Borsbeek.

De stalen van de smeedhaardbodems vertonen een redelijk gelijkaardige microstructuur met eveneens een eerder normale verdeling van ijzersilicaten en matrix. Naar het oppervlak toe wordt de microstructuur wel eens fijner, wat te verklaren is door de snellere afkoeling van deze zones van de ijzerslak. De ijzeroxiden kennen wel een grote variatie in hoeveelheid, vorm en afmetingen, niet alleen tussen de stalen maar ook in hetzelfde staal. Ze verschijnen absoluut niet uniform, maar doorgaans wel als normale of fijne dendritische structuren (wustiet) of als clusters met verschillende gradaties van versmelten. Gewoonlijk komen deze clusters voor in zones die verder minder rijk zijn in ijzeroxiden. IJzerpartikels worden doorgaans ook in hoeveelheden van minstens 10 waargenomen, tot wel 50 in staal LV22PD39, een smeedhaardbodem met twee lagen, en wel 100 in een gedeelte van staal LV22PD46, een eerder dunne plano-convexe smeedhaardbodem met een rood verkleurd oppervlak.

De twee stalen (LV22PD37 & LV22PD42) van een eventueel derde microstructurele groep distantiëren zich door de aanwezigheid van eerder grote vierkante ijzersilicaten en overvloedig glasachtige matrix in combinatie met slechts minimale ijzeroxiden. Dit kunnen we heel gemakkelijk toeschrijven aan het feit dat het plano-convexe ijzerslakken betreft met een grote hoeveelheid verglaasde materie. Deze werden mogelijk gevormd in nauw contact met de brandstofassen in de smeedhaard en eerder traag afkoelden.

6.3.1.5 Samenvatting

De metallurgische resten zijn zonder twijfel afkomstig van primaire en secundaire ijzerproductie. Onder de ijzerslakken (n= 651, ca. 53,5 kg) konden vloeislakken (n= 210, ca. 6,6 kg), (gefragmenteerde) smeedhaardbodems (n= 164, ca. 28,5 kg) en onduidelijke of non-diagnostische fragmenten onderscheiden worden. We kunnen dus stellen dat zowel het primaire smelten van het ijzererts als de secundaire raffinage en smeden van de ijzerwolf op deze site uitgeoefend werden.

Naar alle waarschijnlijkheid werd het lokale ijzererts, i.e. ijzeroer, gebruikt. Op basis van de vloeislakken kunnen we stellen dat dit in een laagoven met aftapmogelijkheid gereduceerd werd tot ijzer en fuseerde tot een ijzerwolf. Voldoende hoge temperaturen werden bereikt om een goed vloeibare slak te vormen die doorheen de ijzerwolf en onderaan de oven uit liep. Op basis van de variabele chemische samenstelling is het niet onwaarschijnlijk dat andere mineralen werden toegevoegd als *flux* om de smelttemperatuur naar beneden te halen. De minimale aanwezigheid van ijzeroxiden en metallisch ijzer in de vloeislakken toont aan dat de kennis van de vroegmiddeleeuwse ijzersmelter toereikend was. Het is echter onduidelijk hoe omvangrijk deze primaire smeltactiviteiten moeten geweest zijn. 6,6 kg vloeislakken zou wijzen op een ijzerwolf van 660 g wat vrijwel verwaarloosbaar is, zeker in vergelijking tot de grote hoeveelheden aan smeedslakken die op dezelfde site en in dezelfde context aangetroffen werden. We moeten dus in overweging nemen dat deze vloeislakken mogelijk een tweede gebruik kenden, eventueel in latere perioden. Er zijn echter ook enkele houtskoolrijke ijzerslakken die eventueel kunnen beschouwd worden als de restanten van de oven, een conglomeraat van ijzerslak dat niet meer uit de oven getapt werd en de overblijvende brandstof dat de vorm aannam van de komvormige ovenbodem. Van de ovenstructuur zijn vrijwel geen restanten overgebleven, maar deze was een klassieke aftapoven waarin goed reducerende condities gecreëerd konden worden. Deze werden aangedreven met blaasbalgen om de nodige hoge temperaturen te bereiken voor de vorming van een goed vloeiende slak. De oven verleende ook de mogelijkheid deze ijzerslak uit de oven te laten vloeien.

De plano-convexe ijzerslakken worden doorgaans als smeedhaardbodems gedetermineerd, maar vertonen heel wat verschillen in morfologie en samenstelling, die eventueel toegeschreven kunnen worden aan de volgende stappen in het productieproces zoals de raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het geraffineerde ijzer tot een voorwerp. Dit blijft echter een complex gegeven in de studie van de ijzerslakken, wat buiten de mogelijkheden van dit onderzoeksproject ligt. De diversiteit kan echter ook duiden op een zekere variatie in de handelingen en keuzes van de smid, of eventueel op de activiteit van meer dan één smid. De variabiliteit binnen deze groep van smeedhaardbodems en de grote mate van fragmentatie maken het moeilijk te stellen hoeveel fragmenten concreet als smeedhaardbodems gedetermineerd kunnen worden. Zo is het ook vrijwel onmogelijk om een gemiddeld gewicht en afmeting te bepalen als referentiepunt, alsook om een allesomvattende beschrijving van de smeedhaardbodem uit te werken. De absolute meerderheid van de ijzerslakken in deze groep van smeedhaardbodems zijn immers ook maar fragmenten. De smeedhaard bestond mogelijk uit een eenvoudige uitgraving in de grond, dewelke eventueel werd bekleed met een laag aardewerk. De smeedhaard werd gevuld met houtskool, en aangedreven met een blaaspijp die op de rand van de haard rustte zoals enkele fragmenten ijzerslak en technisch aardewerk aantonen. Bij het verhitten van de ijzerwolf of het deels geraffineerde ijzer in de haard vloeide de overige ijzerslak uit de massa en hoopte zich op in de haard. Zo kon er zich een plano-convexe *cake* vormen tegen de haardwand aan, net onder het punt van de luchttoevoer. Ook zijn er voorbeelden waarbij de ijzerslak mogelijk op de bodem van de haard, op een laag brandstofasse, samensmolt tot een plano-convexe *cake*.

De ijzerslakken van Nijlen (ca. 53,5 kg in totaal) werden voornamelijk aangetroffen in de vullingen van twee waterputten, S11 en S154. Op basis van gewicht komt 73% uit waterput 2 (S154) en 13% uit waterput 1 (S11). Beide waterputten werden in de vroege middeleeuwen gedateerd. De overige 14% van de ijzerslakken (ca. 183 fragmenten, ca. 7,1 kg) werd ingezameld uit 56 verschillende sporen die

niet allemaal aan de vroege middeleeuwen gelinkt kunnen worden. Op basis van de hoeveelheid ijzerslakken uit de waterputten kunnen we stellen dat zeker 4,6 kg ijzer vervaardigd werd tijdens de vroegmiddeleeuwse periode. In het smeden is de verhouding tussen slak en ijzer metaal zelfs kleiner waardoor we ervan uitgaan dat deze hoeveelheid slak overeenkomt met grotere hoeveelheden ijzermetaal dan de bovengenoemde 10%. We spreken hier dus niet van grootschalige metallurgische activiteiten, maar we mogen niet uitsluiten dat het restafval uit deze waterputten slechts een deel van de eigenlijke productieactiviteiten omvat. Opvallend is dat de ijzerslakken uit waterput 1 (S11) allemaal te relateren zijn aan secundaire activiteiten die mogelijk in de noordelijke zone van de site hebben plaatsgevonden, en dat deze uit waterput 2 (S154) afkomstig zijn van zowel primaire als secundaire activiteiten, die dan weer in de zuidwestelijke zone van de nederzetting gelokaliseerd dienen te worden. Er zijn echter geen concrete aanwijzingen van waar deze activiteiten precies uitgevoerd werden. Als we de metallurgische resten uit de overige sporen in overweging nemen dienen we onze aandacht te vestigen op de vloeislakken, een duidelijke aanwijzing van primaire productie en specifieke technologische kennis die voor zover we weten niet duidelijk uitgesproken leek tijdens de ijzertijd en Romeinse periode.

6.3.2 Site Herentals-*Roggestraat*

6.3.2.1 Overzicht van bodemsporen en structuren

DE RAYMAEKER & ENGELS, in voorbereiding.

In het najaar van 2013 voerde Studiebureau Archeologie een opgraving uit aan de Roggestraat in Noorderwijk (Herentals). Binnen de contouren van het projectgebied werd een meerperiodensite aangetroffen, met sporen die dateren vanaf de ijzertijd tot en met de Tweede Wereldoorlog. De belangrijkste bewoningsfase dateert uit de vroege middeleeuwen. Uit deze periode werden zowel sporen uit een nederzettings-, een ambachtelijke als een funeraire context aangetroffen.

De sporen uit de ijzertijd concentreerden zich in de zuidoostelijke hoek van het projectgebied. De resten uit deze periode bleven beperkt tot een waterput en een (gedeeltelijk verstoorde) gebouwplattegrond. Op basis van de aanwezigheid van twee L-vormige hoekpalen zou het om een plattegrond van het type *Haps* kunnen gaan. Dergelijke gebouwen worden in de midden tot late ijzertijd gedateerd. Slechts enkele scherven handgevormd aardewerk werd bij het onderzoeken van deze sporen aangetroffen. Dit liet niet toe om de datering te verfijnen.

Langs de zuidelijke grens van het projectgebied bevond zich een merovingisch grafveld (6^{de} – 7^{de} eeuw), op ca. 20 m ten zuidoosten van de vroegmiddeleeuwse nederzetting. Het grafveld bestond uit 33 grafkuilen, voor 35 individuen, met een min of meer oost-west oriëntatie. Er konden twee concentraties met een (licht) verschillende oriëntatie worden onderscheiden. Het grafveld viel op door een relatieve schaarsheid aan vondstmateriaal. Menselijke resten bleken ook nauwelijks bewaard, in sommige gevallen kon slechts een lijkschaduw worden waargenomen, in andere waren kleine fragmenten van tanden of de schedel bewaard.

Centraal op het terrein was gedurende enkele eeuwen bewoning gesitueerd. De oudste plattegronden gingen terug tot de Merovingische periode. Het hoofdgebouw vertoonde sterke overeenkomsten met het type 2 van Geldrop (ca. 500-725 n.C.). Uit dezelfde periode werden ook twee hutkommen aangetroffen. Dit zijn kleine, deels ingegraven, bijgebouwen. Hun functie is niet volledig duidelijk, maar vaak lijkt er een verband te bestaan met artisanale activiteiten. Verder werden er maar liefst zeven waterputten in de merovingische tijd gedateerd. Het ging telkens om boomstamwaterputten, waarvan het hout een datering opleverde tussen de 5de eeuw en de eerste helft van de 7de eeuw. Tijdens de karolingische periode zette de bewoning aan de Roggestraat zich verder. Drie hoofdgebouwen werden op basis van de palenzetting tot deze periode gerekend. Ze leunden sterk aan bij de types *Weert 8* en *Weert 4/Uden 6*. Twee boomstamwaterputten werden eveneens aan de karolingische bewoning gelinkt. Verder onderzochten de archeologen nog twee hoofdgebouwen, vijf hutkommen, acht spiekers en vier kleine bijgebouwen. Deze structuren konden door het ontbreken van diagnostisch vondstmateriaal echter niet nauwkeuriger worden gedateerd dan in de vroege middeleeuwen.

Tijdens de volle middeleeuwen leek de bevolking enigszins ingekrompen. Uit deze periode werd slechts één hoofdgebouw aangetroffen, namelijk een bootvormige plattegrond centraal op het terrein. Vier bijgebouwen en een spieker dateren eveneens uit de volle middeleeuwen. Het is echter niet duidelijk of deze allemaal gelijktijdig met het hoofdgebouw in gebruik waren.Na de volle middeleeuwen wordt het terrein verlaten. Pas tijdens de Tweede Wereldoorlog wordt het terrein opnieuw intensief gebruikt bij de aanleg van twee loopgraven: één kronkelend vanaf de noordwestelijke hoek richting centrum van het terrein. Een tweede loopt redelijk parallel (met rechte “kronkels”) met een recente verstoring in de zuidoostelijke hoek.

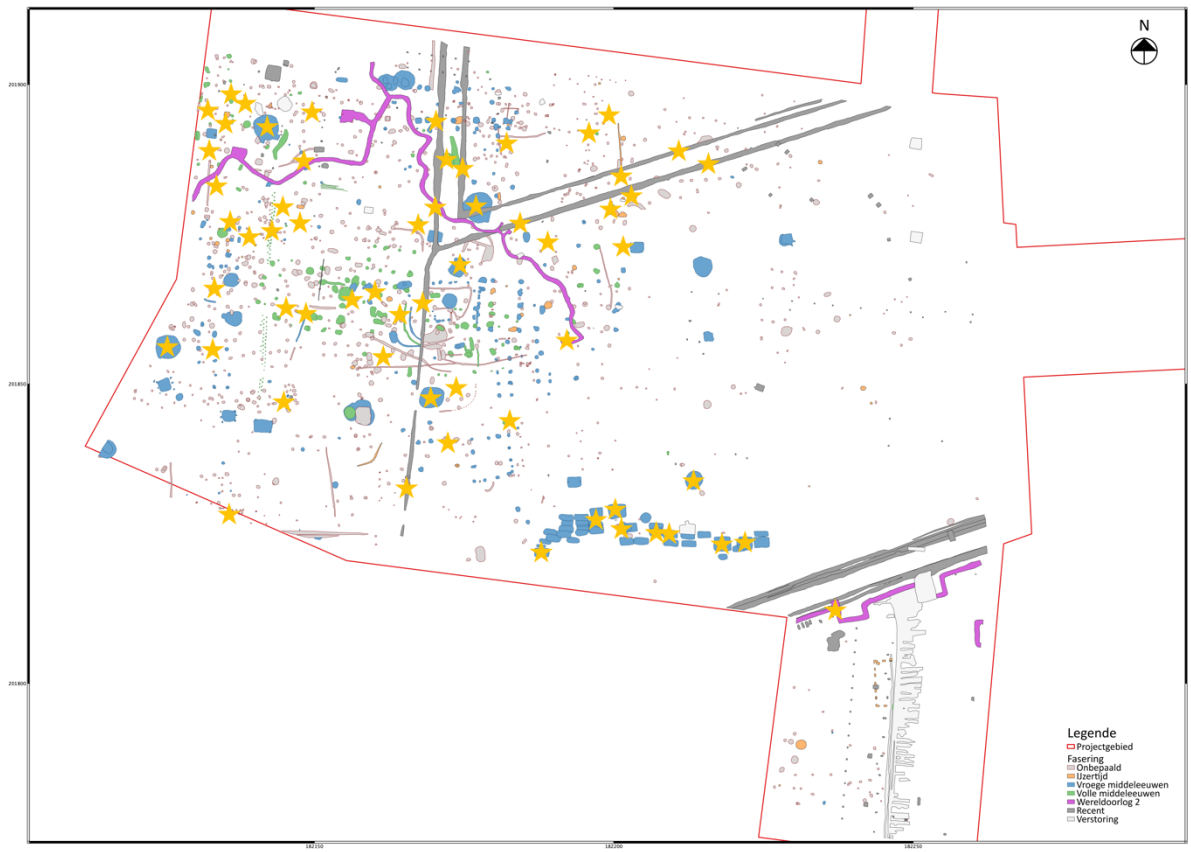


Fig. 6.86: Overzichtsplan van de opgraving met aanduiding van de vondstlocatie van de ijzerslakken.

6.3.2.2 Bodemkundige situering van de site

Volgens de bodemkaart is de vindplaats gesitueerd ter hoogte van SBmx-gronden. Het betreft zeer droge tot droge lemige zandgronden met een dikke (> 60 cm) antropogene humus A-horizont op groenachtig materiaal. De ..m-profielontwikkeling sluit aan bij het algemeen beeld dat bleek uit de bespreking van het aardkundig kader, evenals het voorkomen van droge gronden (.B.-drainage). De locatie van de site is te situeren op enkele honderden meter afstand t.o.v. uiterst natte, lager gelegen alluviale gronden. Verschillende profielen en diepere sporen tonen duidelijk de aanwezigheid van roestvlekken. Hierbij kan het klassieke beeld naar voren geschoven worden waarbij ijzerhoudende sedimenten de bron vormen van vrij ijzer dat oplost in regenwater en doorheen de ondergrond terechtkomt in de lager gelegen alluviale vallei waar het eventueel als ijzeroer kan afgezet worden.

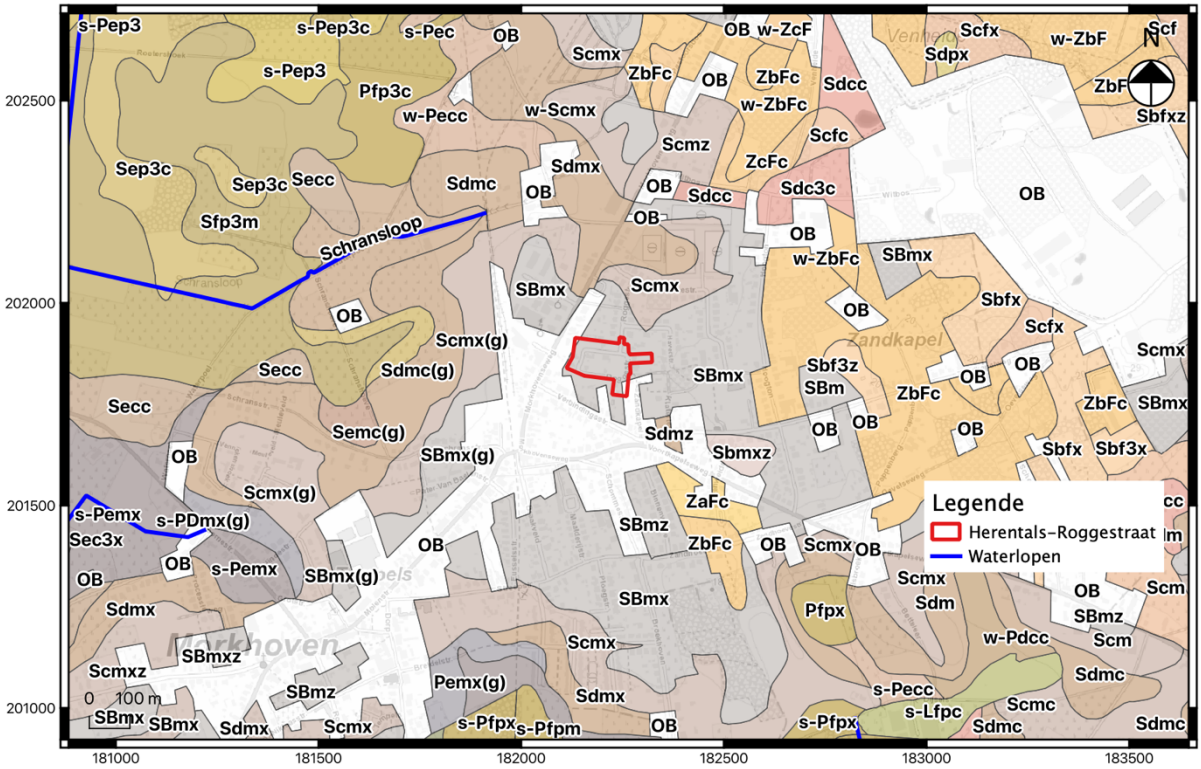


Fig. 6.87: Bodemkaart kaart met aanduiding van de waterlopen en het onderzoeksgebied.



Fig. 6.88: Zicht op profiel 1 met een duidelijke gebroken band van ijzeroxides.

6.3.2.3 Metallurgisch ensemble

Het metallurgische ensemble heeft een totaalgewicht van ca. 41,6 kg en bestaat grotendeels uit ijzerslakken (ca. 711 fragmenten, ca. 28,8 kg), brokken ijzeroer (ca. 73 fragmenten, ca. 8,9 kg), technisch aardewerk (69 fragmenten, ca. 2,1 kg), ander metallurgisch afval (ca. 93 fragmenten, ca. 2,6 kg) waaronder brandstofasse-slakken (ca. 75 fragmenten, ca. 2,2 kg), maar ook fragmentjes metallisch ijzer (6 fragmenten, ca. 32 g).

Opvallend aan dit metallurgisch ensemble is het uiterst fragmentarisch karakter. Het werd verzameld over vrijwel de gehele opgravingszone, in associatie met 89 verschillende sporen. Het gaat voornamelijk om enkele kleine fragmentjes per spoor (i.e. gemiddeld 11 fragmenten met een gemiddeld totaalgewicht van 471 g), maar vrijwel de helft van het ensemble werd aangetroffen in spoor S1191. Uit deze kuil werd ca. 21,7 kg aan metallurgische resten ingezameld, waaronder voornamelijk ijzerslakken (ca. 462 fragmenten, 17,7 kg) maar ook fragmenten technisch aardewerk en brandstofasse-slakken en -sintels en enkele brokken ijzeroer en metallisch ijzer. Ook in sporen S488 en S1396 werden er iets grotere hoeveelheden gevonden, respectievelijk 18 fragmenten met een totaalgewicht van 3,1 kg, en 31 fragmenten met een totaalgewicht van 2,8 kg.

IJzerslakken

De metaalslakken in dit ensemble werden aangetroffen in 60 verschillende sporen die waren verspreid over vrijwel het gehele opgravingsterrein. Het betrof steeds kleine hoeveelheden. Het aantal per spoor overschrijdt zelden de gemiddelde hoeveelheid van 11 fragmenten, en het gewicht is gemiddeld 479 g per context. Iets grotere hoeveelheden werden aangetroffen in sporen S488 (13 fragmenten, ca. 2,7 kg) en S1396 (12 fragmenten, ca. 2 kg), maar de meerderheid van de ijzerslakken, zowel in aantal (95%) als gewicht (77%), komen uit kuil S1191 (462 fragmenten, ca. 17,7 kg).

De verzameling metaalslakken van Herentals-Roggestraat wordt verder ook gekenmerkt door een relatief hoge graad van fragmentatie. De fragmenten wegen gemiddeld slechts 72 g, en de grootste ijzerslak in het ensemble weegt slechts 977 g. Deze fragmentatie is niet erg bevorderlijk voor de determinatie. We kunnen zonder twijfel stellen dat deze afkomstig zijn van ijzerproductie, maar de morfologische kenmerken eigen aan de verschillende types van ijzerslakken zijn zelden voldoende behouden om met zekerheid een bepaald type toe te schrijven. Ondanks het gefragmenteerde karakter van de ijzerslakken zijn er in het ensemble duidelijke voorbeelden van zowel vloeislakken als smeedhaardbodems, wat wijst op het feit dat zowel het primaire smelten van het ijzererts als de secondaire raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het ijzer op deze site uitgevoerd werden. In het gehele ensemble zijn er 32 fragmenten (ca. 1,6 kg, Fig. 6.89 en Fig. 6.90) die als **vloeislakken**, of mogelijk vloeislakken, gedetermineerd kunnen worden. Ze zijn doorgaans vrijwel corrosievrij, bestaan uit een donkergrijs-zwart gekleurde compacte materie met glanzend oppervlak en de kenmerkende vloeistructuur. Dit betreft slechts 6% bij gewicht van de ijzerslakken maar wijst op de uitvoering van het primaire smelten van ijzererts op of in de nabijheid van de site.

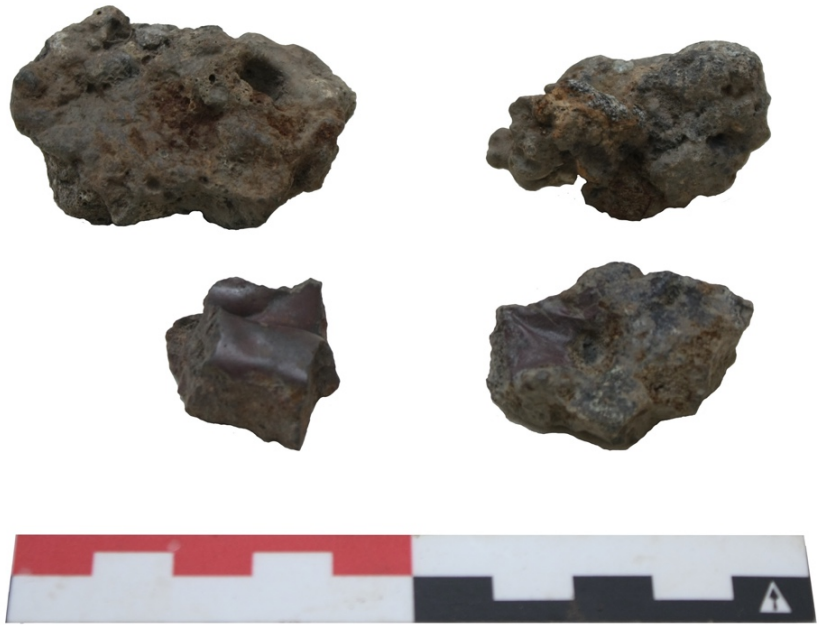


Fig. 6.89: Enkele vloeislakken uit S487.

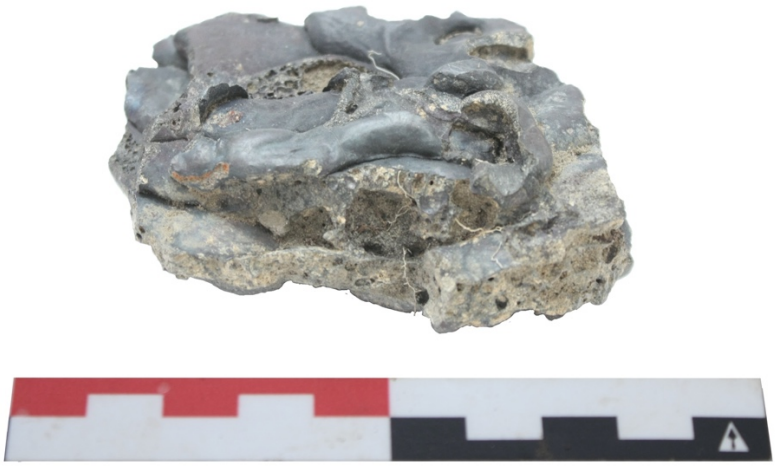


Fig. 6.90: Een vloeislak uit S1466.

In totaal zijn 85 fragmenten (ca. 10,1 kg, Fig. 6.91) als **smeedslakken**, of mogelijk smeedslakken, gedetermineerd. Het gaat hier om fragmenten van smeedhaardbodems of vrijwel volledige smeedhaardbodems en smeedslakbrokken. Deze smeedhaardbodems worden voornamelijk onderscheiden door de kenmerkende plano-convexe vorm, de vlakke of golvende bovenzijde en knobbelige textuur onderaan, of een rand met resten aardewerk en verglaasde brandstofasse. Dit komt neer op vrijwel 35% in gewicht van het totale ensemble van ijzerslakken, maar vrijwel de helft van deze fragmenten zijn twijfelgevallen die niet helemaal beantwoorden aan de klassieke vormen van smeedhaardbodems. Vaak tonen ze ook overeenkomsten met vloeislakken of zijn ze dusdanig onregelmatig in vorm dat ze eventueel kunnen toegeschreven kunnen worden aan andere vormingsprocessen. Hierbij wordt de mogelijkheid van ovenslakken in overweging genomen.



Fig. 6.91: Smeedslakken uit S1396.

Dit brengt ons tot de meerderheid van de ijzerslakken die een eerder onregelmatige vorm hebben met een uiterst knobbelig of globulair oppervlak en vervolgens een vesiculaire samenstelling. Deze **knobbelige/globulaire ijzerslakken** (Fig. 6.92) zijn niet duidelijk te definiëren en determineren. Toch zijn 501 fragmenten (14,3 kg) van dit specifiek type geclassificeerd, wat neerkomt op 50% (gewicht) of 72% (aantal) binnen de groep ijzerslakken. De fragmenten variëren sterk in omvang en gewicht. Er zijn veel fragmentjes die niet veel meer wegen dan een dertigtal gram. Er is veelal sprake van een groot aandeel verglaasde brandstofasse in de materie. Andere grotere exemplaren wegen dan weer enkele honderden gram en vormen meer betrouwbare voorbeelden van het knobbelige/globulaire type ijzerslak. De overige 75 fragmenten (ca. 2,7 kg) werden als **non-diagnostische** slakken gedetermineerd.



Fig. 6.92: Knobbelige slakken uit S1191.

Ten gevolge van de ruime verspreiding en hoge fragmentatiegraad van het ensemble wordt de uitgebreide bespreking van de ijzerslakken en de mogelijk types beperkt tot de grootste clusters die werden ingezameld uit kuil S1191, S488 en S1396.

Kuil S1191

Onder de ijzerslakken van kuil S1191 lijken we voornamelijk het non-diagnostisch knobbelige/globulaire type te kunnen onderscheiden, met een eerder onregelmatige vorm en vesiculaire samenstelling (Fig. 6.92). Verschillende fragmenten hebben ook een meer compacte samenstelling en/of een convexe onderzijde. De materie oogt in vele gevallen donkergrijs-zwart met een glanzend oppervlak en evenaart zo wel eens de typische kenmerken van vloeislakken. Er is echter

ook een aanzienlijk groot aandeel onder deze knobbelige slakken dat poreuzer oogt en bedekt is met een roestkleurige korstlaag. Bij het doorzagen van enkele fragmenten van deze knobbelige/globulaire ijzerslakken krijgen we een relatief homogene materie te zien met kalkrijke zones en eventueel zelfs inclusies (HE S1191 Z3 St6, Fig. 6.93; HE S1191 Z2 St3, Fig. 6.94; HE S1191 Z1 St6, Fig. 6.95). Het slakkenmateriaal vertoont verschillende gradaties in de grijswaarden, waarbij sommige fragmenten lichter gekleurd zijn. In deze fragmenten zijn de kalkrijke zones en inclusies ook talrijker, net zoals de porositeit die in deze gevallen stevig toeneemt. Er zijn enkele voorbeelden waarbij er houtskoolinclusies tevoorschijn kwamen. Binnen enkele slakken is er een soort gelaagdheid waar te nemen door schakeringen in de kleurtextuur van de materie. Ook is sprake van grotere luchtbellen. De slakken waarbij kalkrijke zones en inclusies eerder beperkt aanwezig zijn, vertonen een meer homogene samenstelling die overeenstemt met deze van vloeislakken.

Bij het doorzagen van enkele knobbelige fragmenten met een roestkleurige korstlaag komt een zeer poreuze en eerder lichtkleurige materie tevoorschijn, soms met een groenige schijn, en donkere zones of vlekken (HE S1191 Z1 St3, Fig. 6.96; HE S1191 Z2 St1, Fig. 6.97). Mogelijk werkte de porositeit van de materie corrosie in de hand, met een slechtere bewaring van de slakmaterie tot gevolg.

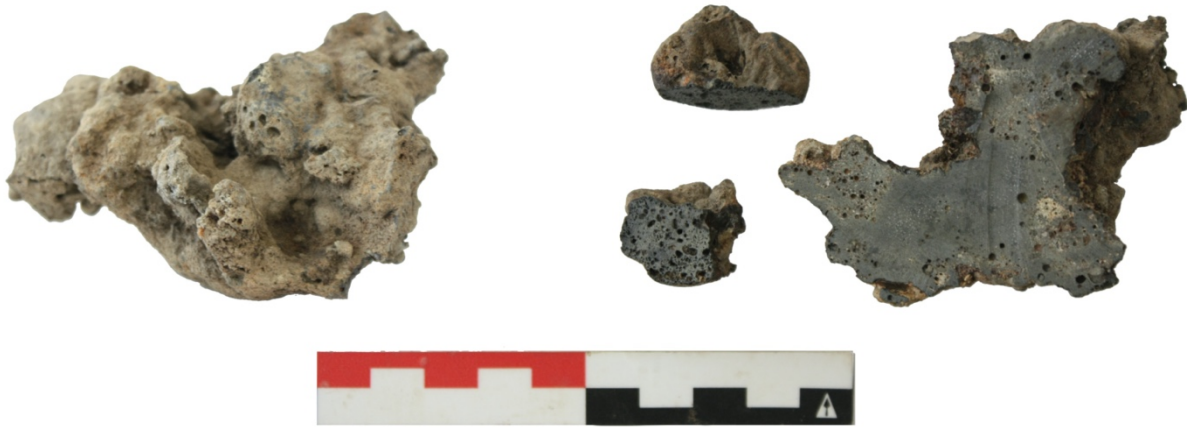


Fig. 6.93: Profiel en doorsnede van een knobbelige ijzerslak uit S1191 (HE S1191 Z3 St6).



Fig. 6.94: Profiel en doorsnede van een knobbelige ijzerslak uit S1191 (HE S1191 Z2 St3).

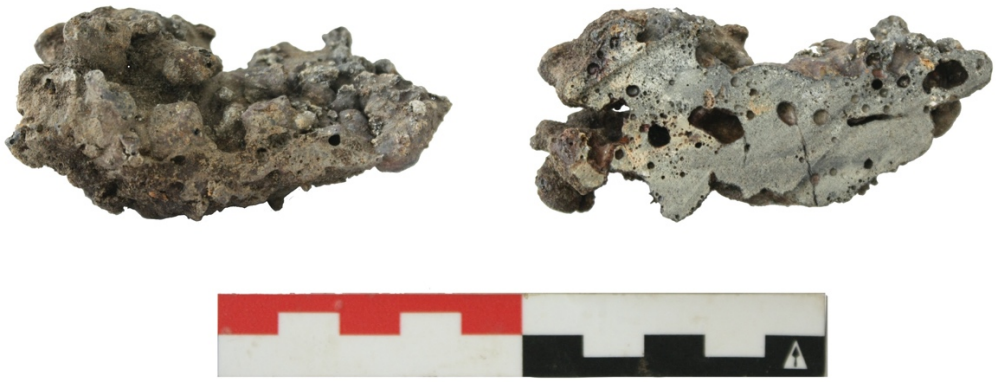


Fig. 6.95: Profiel en doorsnede van een knobbelige ijzerslak uit S1191 (HE S1191 Z1 St6).



Fig. 6.96: Knobbelige ijzerslak HE S1191 Z1 St3: zijaanzicht (links) en doorsnede (rechts).



Fig. 6.97: Knobbelige ijzerslak HE S1191 Z2 St1: zijaanzicht (links) en doorsnede (rechts).

Verschillende van de knobbelige/globulaire fragmenten vertonen morfologische kenmerken die overeenstemmen met de **vloeislak**. In het ensemble is sprake van een grotere gefragmenteerde slak met plano-convexe vorm en een oppervlak met overtuigende vloeitextuur, en een ophoping van slakmaterie (HE S1191 Z2 St6, Fig. 6.98). Dit object lijkt zich te hebben gevormd door het vloeien van

de ijzerslak in een kleine komvormige uitholling. De slakkenmaterie koelde af vooraleer de afdruiping tot een vlak oppervlak kon vloeien. Het fragment weegt 770 g en heeft een maximale diameter van 13 cm. De doorsnede van deze slak toont grote gelijkenissen met de knobbelige fragmenten. De materie is relatief homogeen met een kristallijne structuur die in bepaalde zones zichtbaar is met het blote oog. De porositeit beperkt zich tot bepaalde zones en/of grotere luchtbellen. Er zijn enkele zones met een lichtere kleur, wat te wijten is aan een hoger aandeel aan calcium. Dit calcium is overigens zichtbaar als kleine partikels in de materie en wellicht als een duidelijk te onderscheiden horizontale laag onderaan de slak.



Fig. 6.98: Knobbelige ijzerslak HE S1191 Z2 St6: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

Net zoals bij de knobbelige ijzerslakken van Grobbendonk doen de sterke gelijkenissen tussen de knobbelige/globulaire ijzerslakken en de vloeislakken vermoeden dat ook deze fragmenten mogelijk afkomstig zijn van een gelijkaardig (reductie)proces, maar dat ze op een andere manier uit de oven verwijderd werden. Het grote aandeel aan verglaasde zones en calcium in deze fragmenten wijst mogelijk op het feit dat deze meer in aanraking kwamen met de veraste brandstof en mogelijk op de bodem van de oven stolden of met deze brandstofasse uit de oven werden geharkt. Ook de houtskoolinclusies die wel eens te zien zijn ondersteunen deze veronderstelling. Door de enorme

variatie onder deze knobbelige ijzerslakken – met name het aandeel van calciumrijke zones en inclusies, al dan niet duidelijke vloeitexturen aan het oppervlak, onregelmatige of plano-convexe vormen, corrosieproducten – is het echter moeilijk om al deze fragmenten met volle overtuiging aan dezelfde praktijken toe te schrijven. Uit het ensemble van kuil S1191 werd een totaal van 442 fragmenten met een gewicht van 13,8 kg geclassificeerd onder het type van knobbelige ijzerslak.

Er zijn enkele fragmenten die bijkomende verwarring brengen in de interpretatie van dit ensemble. Het gaat om vier ijzerslakken met een golvend oppervlak bovenaan en een knobbelige textuur onderaan. Ze zijn over het algemeen onregelmatig van vorm, maar vertonen toch ook een convexe onderzijde. Opvallend is echter de grote hoeveelheid aan **aardewerkresten** langs één zijde, en al dan niet heel wat verglaasde materie (Fig. 6.99 S1191 met aardewerk). Het grootste fragment weegt 700 g en heeft een maximale lengte van 19 cm en een dikte van 5 cm. Het kleinste fragment weegt slechts 185 g, meet 10,5 cm x 6 cm en heeft een dikte van 3 cm. Omwille van de resten aardewerk kunnen de fragmenten als **smeedhaardbodems** worden gedetermineerd, waarbij het slakkenmateriaal tegen de haardwand aan samen clusterde tot een massa, als dan niet met een duidelijke plano-convexe vorm.
Eén van de fragmenten werd doorgezaagd (HE S1911 Z1 St4, Fig. 6.100). Dit fragment is eerder plat met een milde concaaf-convexe vorm met een maximale lengte van 10 cm. Het stuk heeft een stevige opstaande rand tot 5,5 cm dik. Deze afgeronde rand is bedekt met resten aardewerk en vertoont redelijk wat verglaasde kalkrijke materie. Het slakkenmateriaal vertoont een gladde donkergrijs-zwarte materie met rode-paarse verkleuring op de rand, maar het dunne platte gedeelte is bedekt met corrosieproducten en organische of houtskoolinclusies. De doorsnede vertoont dan weer een redelijk homogene materie met calciumrijke zones en inclusies die toenemen in het onderste dunne deel van het fragment. De doorsnede verschilt op die manier niet bijzonder hard van deze van de knobbelige ijzerslakken, wat weer moeilijkheden creëert bij de determinatie van de ijzerslakken in dit ensemble.

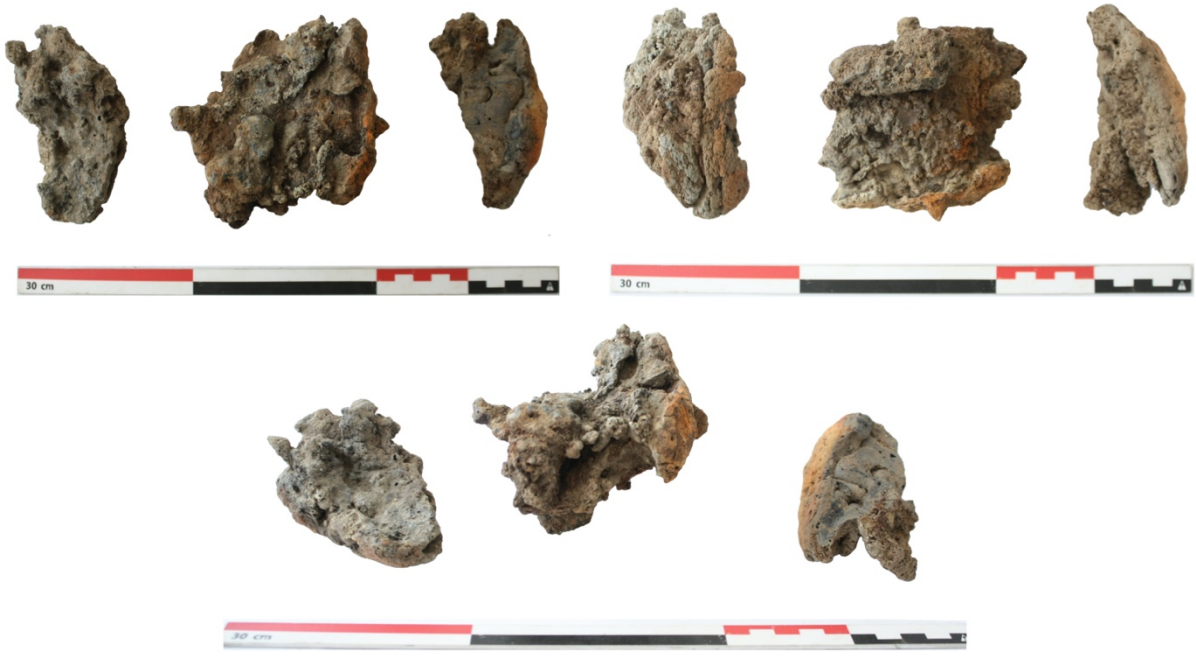


Fig. 6.99: IJzerslakken met een grote hoeveelheid aan aardewerk resten uit S1191: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (rechts boven) en zijaanzicht (onderaan).



Fig. 6.100: IJzerslak HE S1911 Z1 St4: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

In het ensemble bevindt zich eveneens één groter fragment van een schijnbaar verschillend type dan deze die hierboven reeds besproken werden (HE S1911 Z1&3 St1, Fig. 6.101). De materie oogt zeer compact en het fragment heeft een plano-convexe vorm met een sterk gebogen (U- of V-vormige) onderzijde. Opvallend is de grote horizontale luchtbel centraal in het fragment. Het oppervlak is bedekt met een roestige korstlaag, waardoor het oppervlak van de materie zelf niet goed waar te nemen is. Langs één zijde zijn er wat resten aardewerk aanwezig. Het gebroken fragment weegt 653 g en heeft een maximale diameter van 14,5 cm en een dikte van 5,5 cm. De doorsnede vertoont een redelijk lichtgrijs gekleurde materie met een groengelige schijn naar de bovenzijde toe. De materie zelf is homogeen en redelijk compact met een kristallijne textuur die duidelijk zichtbaar is met het blote oog. Naar de bovenzijde toe neemt de porositeit sterk toe met ook enkele grotere luchtellen. Opvallend is de donkere laag die het oppervlak van het fragment lijkt te bedekken. Deze laag lijkt sterk gecorrodeerd te zijn. Dit fragment toont sterke gelijkenissen met **smeedhaardbodems**, maar bijzonder is wel de luchtbel.



Fig. 6.101: IJzerslak HE S1911 Z1&3 St1: bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links midden), zijaanzicht (rechts boven), breukvlak (rechts midden) en doorsnede (onderaan).

Kuil S488

Ondanks de veel kleinere hoeveelheid tonen de ijzerslakken uit spoor S488 geen grote gelijkenissen met de fragmenten uit kuil S1191. Onder de 13 ijzerslakken (ca. 2,7 kg) zijn voornamelijk fragmenten van (potentiële) **smeedhaardbodems** te onderscheiden (Fig. 6.102 - Fig. 6.104, voorbeelden smeedhaardbodems S488). Deze bestaan doorgaans uit een redelijk compacte materie, met een donkere grijszwarte kleur. De vorm lijkt vaak eerder onregelmatig, maar een vlakke of golvende bovenzijde al dan niet met opstaande rand en/of een rechte zijde met resten aardewerk wijst op een onvolledige of onregelmatige plano-convexe vorm. De onderzijden vertonen zelden de kenmerkende convexe rondingen, maar wel de (inmiddels) typische knobbelige of soms zelfs globulaire textuur. Bij

een tweetal fragmenten zijn mogelijk meerdere lagen waar te nemen. Ook zijn er enkele exemplaren aanwezig met redelijk wat houtskoolinclusies in de matrix. Bijzonder is de blauwkleurige poederachtige materie (mogelijk vivianiet) die werd aangetroffen op twee fragmenten uit laag 6 (Fig. 6.105).



Fig. 6.102: Enkele smeedhaardbodems uit S488: bovenaanzicht (bovenaan), onderaanzicht (onderaan).

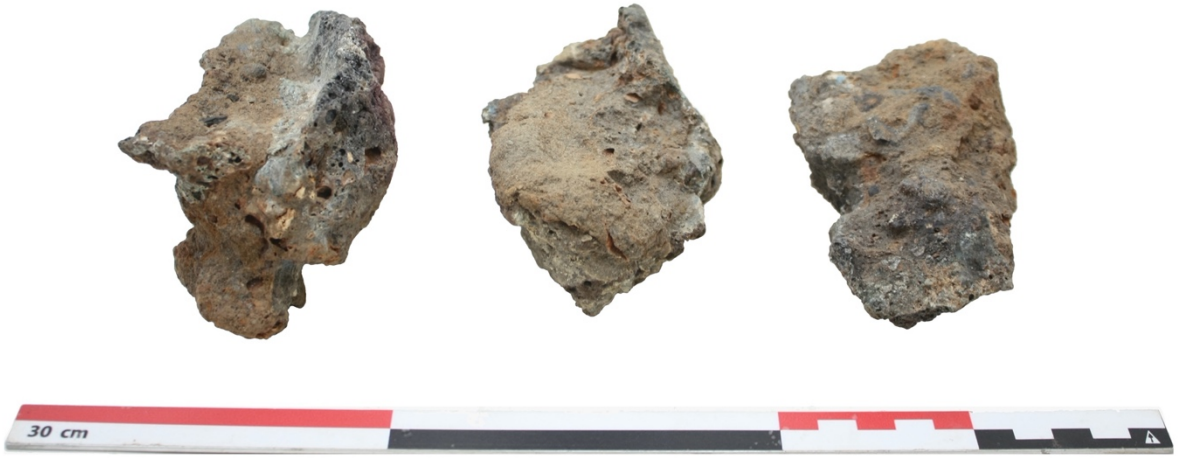


Fig. 6.103: Enkele smeedhaardbodems uit S488.



Fig. 6.104: Een smeedhaardbodem uit S488: bovenaanzicht (links) en zijaanzicht (rechts).



Fig. 6.105: Smeedslak met blauwe verkleuring uit S488.

Het grootste fragment ijzerslak uit spoor S488 weegt 709 g, en meet 13 cm x 11,5 cm met een dikte van 5,5 cm (HE S488L2 St1, Fig. 6.106). De compacte materie wijst in eerste instantie mogelijk op een smeedhaardbodem, maar deze is eerder onregelmatig van vorm met schijnbaar twee lagen (of lappen) die elkaar slechts gedeeltelijk overlappen. Bij het doorzagen van dit fragment kwam een homogene materie tevoorschijn die is doordrongen met organische, minerale en sedimentaire inclusies, waaronder houtskool. Deze bevinden zich voornamelijk centraal in de doorsnede, waar ook de porositeit van de ijzerslak sterk toeneemt in de vorm van grote luchtbellen. Ook qua samenstelling beantwoordt deze ijzerslak redelijk goed aan andere voorbeelden van smeedslakken.



Fig. 6.106: Grootste fragment uit S488 (HE S488L2 St1): bovenaanzicht (links boven), onderaanzicht (links onder), zijaanzicht (rechts boven) en doorsnede (rechts onder).

In de kleine verzameling ijzerslakken uit spoor S488 zijn ook een drietal fragmenten waargenomen die zeer gelijkaardig zijn aan het knobbelige type uit kuil S1191 (Fig. 6.107). Er is ook een duidelijk plano-convex fragment dat als smeedhaardbodem kan worden beschouwd, maar het glanzend rood verkleurde oppervlak doet dan weer denken aan vloeislakken (HE S488L1 St2, Fig. 6.108). De doorsnede van dit fragment toont toch een eerder poreuze maar relatief homogene materie met schakeringen in de grijswaarden afhankelijk van de hoeveelheid calcium of silica. Er is ook sprake van gecorrodeerde ijzerrijke zones. Ook dit fragment beantwoordt bijgevolg aan de samenstelling van andere smeedhaardbodems.

De smeedslakken uit kuil S488 werden aangetroffen in combinatie met enkele redelijk grote fragmenten (300 g) technisch aardewerk, met redelijk wat ijzerslak en twee kleine brokjes sintel (33 g) en ijzeroer (36 g).

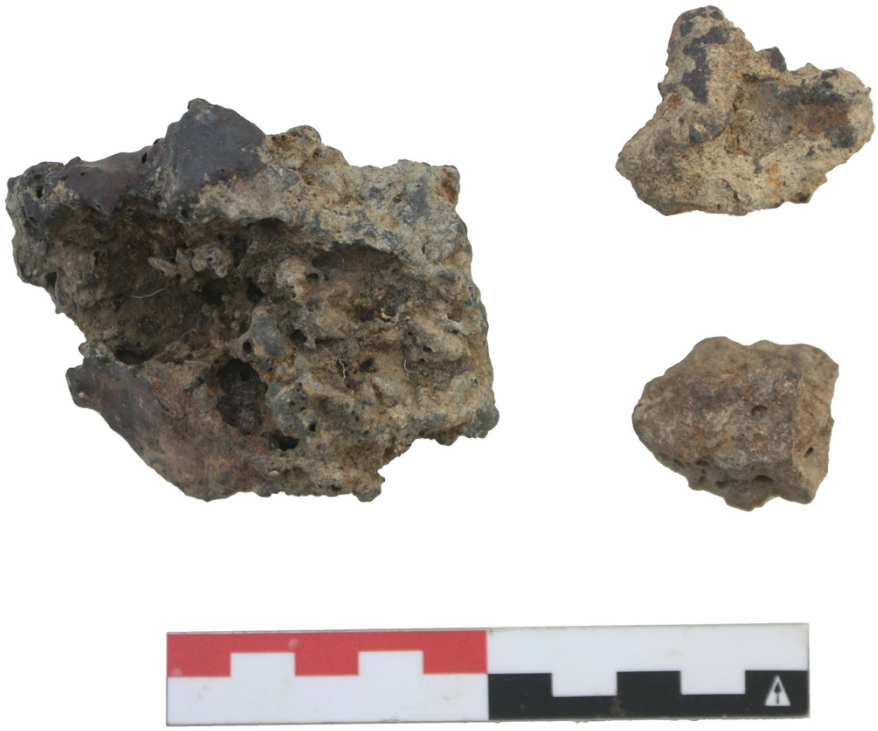


Fig. 6.107: Knobbelige ijzerslakken uit S488.

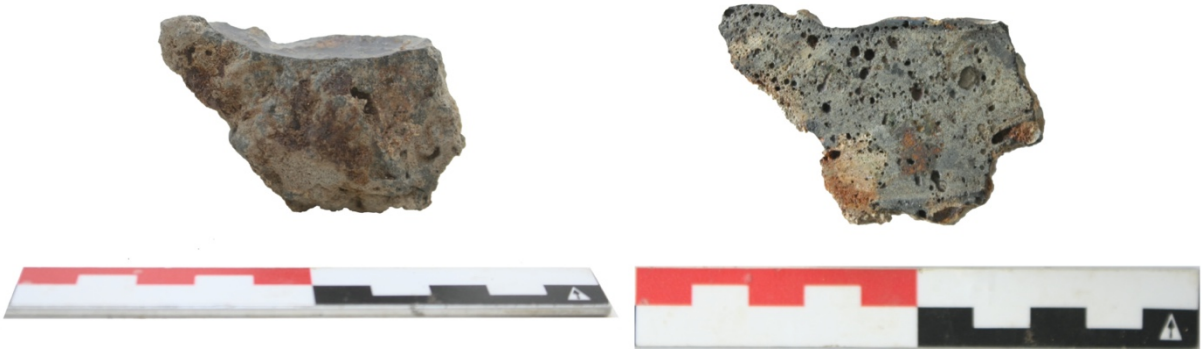


Fig. 6.108: IJzerslak HE S488L1 St2 uit S488: zijaanzicht (links) en doorsnede (rechts).

Kuil S1396

Ook uit kuil S1396 werden enkele ijzerslakken ingezameld. Deze 12 fragmenten (ca. 2 kg) vertonen een eerder onregelmatige vorm, maar hebben geregeld een rand, al dan niet met resten aardewerk, een vlakke/golvende bovenzijde en/of een knobbelige onderzijde (Fig. 6.110). Er lijkt een zekere diversiteit in deze kleine verzameling aan ijzerslakken uit deze kuil, maar de beperkte omvang van het ensemble maakt het moeilijk om eventuele subtypes te onderscheiden. De materie heeft doorgaans een donkergrijs-zwarte kleur met eventueel een paarse verkleuring van het oppervlak, en oogt compact en homogeen met een veelal duidelijke kristallijne structuur in de breuk. Toch is er in vele van de fragmenten een eerder knobbelige samenstelling en porositeit waar te nemen. Occasioneel zijn er langs de onderzijde houtskoolinclusies waar te nemen. Enkele fragmenten lijken alsnog te beschikken over een plano-convexe vorm. Dit is voornamelijk zichtbaar bij het doorzagen van enkele fragmenten.

De doorsnedes (Fig. 6.109) vertonen een relatief homogene materie met schakeringen in de grijswaarden, afhankelijk van de calcium- of silica-*content* en de aanwezigheid van gecorrodeerde ijzerrijke zones. Bij het plano-convex exemplaar is er een zekere gelaagdheid waar te nemen, met een donkere laag onderaan. De porositeit van de materie kan danig variëren, en beperkt zich bij één fragment tot de randen van de doorsnede.

We kunnen stellen dat ook deze ijzerslakken uit spoor S1396 mogelijk **smeedslakken** zijn. Ze werden aangetroffen in combinatie met 16 fragmenten (757 g) ijzerslak met grote hoeveelheden brandstofasseslak en resten aardewerk als ook 3 (64 g) platte fragmenten verglaasd technisch aardewerk met een laag verglaasde brandstofasse.

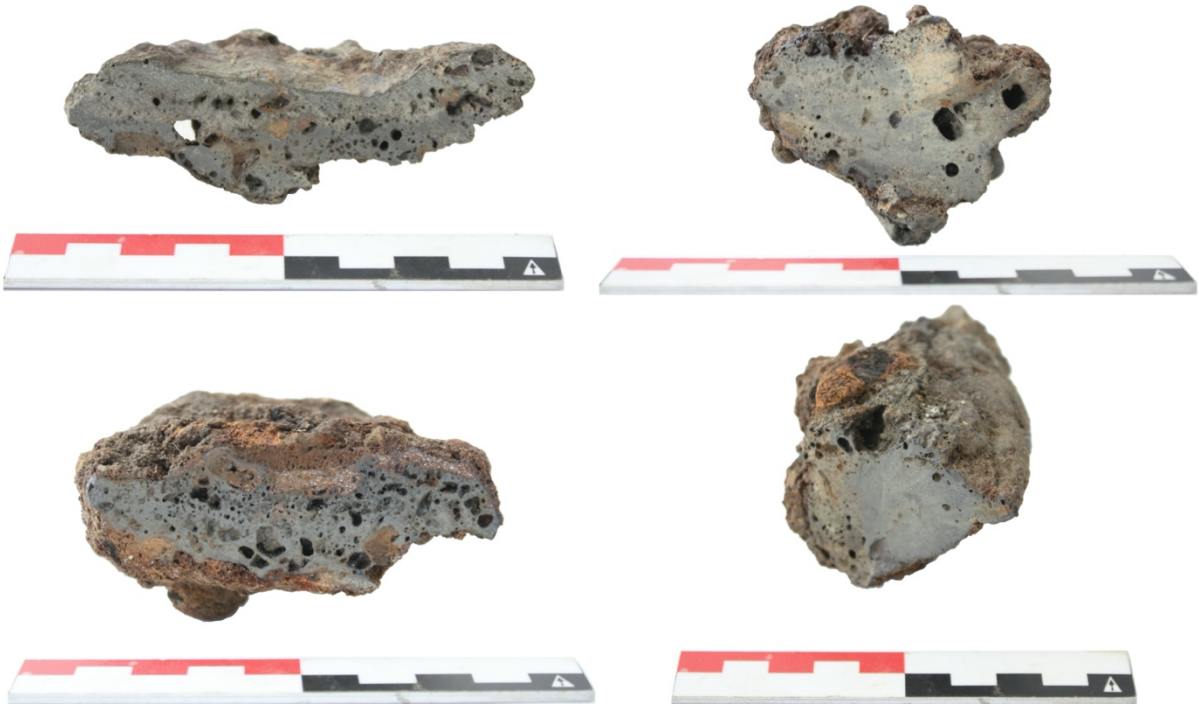


Fig. 6.109: Doorsnedes van enkele ijzerslakken uit S1396: HE S1396 St1 (links boven), HE S1396 St2 (rechts boven), HE S1396 St3 (links onder) en HE S1396 St4 (rechts onder).



Fig. 6.110: IJzerslakken uit S1396: bovenaanzicht (bovenaan) en onderaanzicht (onderaan).

Brandstofasseslak

In het metallurgische ensemble werd ook een redelijk grote hoeveelheid versinterde en verglaasde brandstofasse aangetroffen (ca. 59 fragmenten, ca. 1,4 kg). De brandstofassesintels (2 fragmenten, 6 g) zijn gewoonlijk onregelmatige brokjes met een eerder minimale graad van verglazing. De brandstofasseslakken (57 fragmenten, ca. 1,4 kg) zijn doorgaans heviger verglaasd en vertonen geregeld een platte of eventueel concaaf-convexe vorm met afgeronde onregelmatigheden. Occasioneel zijn er zelfs vloeitexturen waar te nemen. Door deze vormelijke kenmerken zijn ze zeer gelijkaardig aan de silica/calciumrijke ijzerslak, maar gewoonlijk kan een onderscheid gemaakt worden op basis van het lagere gewicht, de lichte kleur en de porositeit van de materie. De brandstofasseslakken zijn het resultaat van het samensmelten van de brandstofassen op de bodem van de smeedhaard, waarbij ze al dan niet de komvorm kunnen aannemen. Daar ze in contact komen met de haardwand en de ijzerslakken kunnen de brandstofassesintels en -slakken ook resten of lagen aardewerk of ijzerslak bevatten. Dit is zeker het geval in dit metallurgisch ensemble.

Duidelijk te onderscheiden brandstofasse-slakken, met resten aardewerk of ijzerslak, werden enkel uit kuil S1191 ingezameld (57 fragmenten, ca. 1,4 kg). Ze bevatten een zekere hoeveelheid ijzerslak, wat resulteert in een hoger gemiddeld gewicht van de fragmenten in vergelijking met andere ensembles, zoals deze van Borsbeek. Dit bemoeilijkt het maken van een onderscheid met ijzerslakken. Bij zes fragmenten werd ook aanzienlijk wat aardewerk waargenomen. Het zwaarste fragment weegt slechts 76 g, met een diameter van 9 cm en een dikte van 1,7 cm. Uit spoor S1396 zijn 16 (ca. 757 g) onregelmatig of platte gecorrodeerde fragmenten ijzerslak met grote hoeveelheden verglaasde brandstofasse en resten aardewerk afkomstig. Het zwaarste fragment weegt 211 g en heeft een maximale lengte van 8 cm en dikte van 4,5 cm.

Technisch aardewerk

In totaal konden in het metallurgische ensemble 69 fragmenten (ca. 2,1 kg) aardewerk onderscheiden worden, die aan hoge temperaturen blootgesteld werden. De binnenzijde vertoont steevast een poreus versinterd of hevig verglaasd oppervlak, al dan niet met een laag verglaasde brandstofasseslak. Het buitenste oppervlak van de fragmenten is steeds gefragmenteerd. De fragmenten hebben doorgaans een bruinrode kleur met een grijze verkleuring van de binnenzijde door de blootstelling aan eerder reducerende condities. Deze grijze verkleuring kan het gehele fragment betreffen. De verglaasde binnenzijde van de fragmenten heeft occasioneel door de aanwezigheid van verglaasde brandstofasse een eerder witte kleur, die nu en dan zelfs een groene kleur kan aannemen afkomstig van het ijzeroxide. Verschillende fragmenten hebben ook een laag ijzerslak aan de binnenzijde die tot 1,5 cm dik kan zijn, of zich heeft opgehoogd tot een uitstulping van enkele centimeters.

Door de fragmentarische aard van de stukken is een duidelijke vorm van de smeedhaard of smeltoven niet te bepalen. De fragmenten wegen meestal maar een paar gram tot enkele tientallen grammen, met een gemiddelde van 31 g. Het grootste fragment meet 11,5 cm x 9 cm en heeft een dikte van 2 cm (S1191, Fig. 6.111). De dikte van het aardewerk van de fragmenten is vrijwel nooit meer dan 2 cm. Aangezien het buitenste oppervlak van de fragmenten nooit bewaard is kunnen we niet met zekerheid zeggen hoe dik het aardewerk oorspronkelijk was. Twee centimeter is zonder twijfel eerder dun voor

een ovenwand, maar zeker mogelijk voor de bekleding van de bodem van de smeedhaard. Opvallend is echter een fragment waarbij twee lagen van verglazing waargenomen kon worden in het profiel (S1191, Fig. 6.112). Dit wijst erop dat een tweede laag aardewerk werd aangebracht aan de binnenzijde van de oven- of smeedhaard, mogelijk ter wijze van reparatie. Dit verwachten we eerder bij een smeltoven dan bij een smeedhaard, daar de structuur zo goed als mogelijk gevrijwaard moet blijven van scheuren om een ineenzakken of toename van zuurstof te vermijden. Ook hier komt de meerderheid van de fragmenten technisch aardewerk uit kuil S1191 (43 fragmenten, ca. 1,6 kg). De overige 26 fragmenten (ca. 575 g) werden aangetroffen in 12 andere sporen.

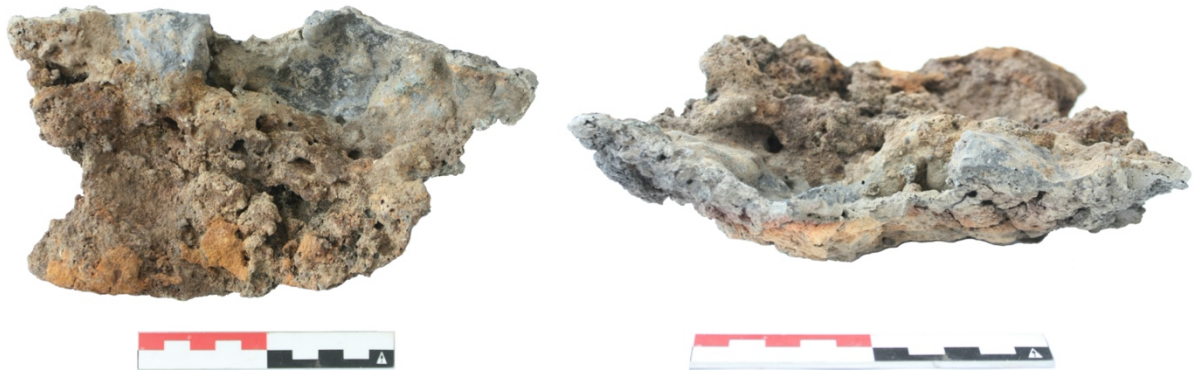


Fig. 6.111: Fragment haardbekleding of ovenwand uit S1191: binnenzijde (links) en zijaanzicht (rechts).



Fig. 6.112: Fragment met twee lagen van verglazing uit S1191.

Metallurgisch afval

Ter aanvulling van alle bovengenoemde vondstcategorieën zijn er heel wat brokken en fragmenten gevonden die mogelijk wel met metallurgische activiteiten verband houden. In het ensemble werden 73 brokken (ca. 9 kg) als ijzeroer gedetermineerd. Deze zouden mogelijk als (ongebruikt) ertsmateriaal gediend hebben. De donkerrode verkleuring op enkele brokken zou eventueel kunnen wijzen op het roosteren van het erts, mogelijk om deze poreuzer te maken en gemakkelijker te kunnen breken tot kleine brokjes. Dit is bevorderlijk voor het reduceren van het ijzeroer tot ijzer in de oven. De aanwezigheid van dit ijzeroer wijst dus opnieuw op primaire smeltactiviteiten op de site. De brokken ijzeroer komen uit 21 verschillende sporen. De grootste hoeveelheid werd ingezameld als een grote brok van bijna 4,5 kg uit spoor S1479, maar gemiddeld wegen de brokken 123 g. Andere grotere hoeveelheden komen uit sporen S635 (19 fragmenten, ca. 1kg) en S1191 (4 fragmenten, ca. 1 kg).

6.3.2.4 Microstructurele en chemische analyse van de ijzerslakken

Chemische samenstelling (pXRF)

In totaal werden 24 ijzerslakken geselecteerd voor verdere analyse en doormidden gezaagd. Door de variabiliteit en hoge fragmentatie van het ensemble van Herentals werd geopteerd om een grotere hoeveelheid slakken te onderwerpen aan analyse in vergelijking met de andere ensembles. De selectie betreft achttien voorbeelden van knobbelige ijzerslakken, enkele vloeislakken en een fragment van een smeedhaardbodem uit kuil S1191, twee potentiële smeedhaardbodems uit kuil S448 en twee potentiële smeedhaardbodems en mogelijke vloeislakken uit kuil S1369. Deze 24 doorsnedes werden geanalyseerd aan de hand van pXRF. Bij de analyses van Herentals werden we geconfronteerd met uitzonderlijk lage waarden voor aluminium bij enkele fragmenten, dit door het feit dat aluminium bij verschillende metingen zelfs niet gedetecteerd kon worden. Bij een tweede analyse van dezelfde fragmenten werd aluminium wel gedetecteerd en schoten deze waarden de lucht in, met als gevolg dat er ook een verandering waargenomen kon worden in de metingen voor de andere elementen.

Op het eerste gezicht zijn er geen grote verschillen in de chemische samenstelling van de ensembles waar te nemen. De metingen van de primaire componenten van de ijzerslak, i.e. ijzer, silica en aluminium, vertonen gelijkaardige waarden. Opvallend is echter het feit dat er, ondanks de grote hoeveelheid aan analyses, geen duidelijk patronen waargenomen worden in de chemische samenstelling van de fragmenten van Herentals. Er kan geen duidelijke verband gelegd worden tussen de drie primaire elementen in de ijzerslakken en/of de andere elementen. Hierdoor is het moeilijk om op basis van de chemische samenstelling een onderscheid te maken tussen mogelijk verschillende soorten ijzerslakken, net zoals die niet zo duidelijk is in de macroscopische samenstelling van het ensemble. De analyses tonen voor verschillende elementen een redelijk samenhangende groep met enkele uitschieters, maar ook deze kunnen niet toegeschreven worden aan bepaalde types van ijzerslakken of zelfs bepaalde fragmenten maar vertonen een eerder willekeurig patroon.

De willekeurigheid in de chemische samenstelling van de ijzerslakken van Herentals zou eventueel gerelateerd kunnen worden aan technische varianten bij de gestandaardiseerde metallurgische activiteiten. Deze variatie is overigens gelijkaardig of zelfs groter dan in de andere ensembles. We zouden bijgevolg kunnen stellen dat deze chemische variatie het resultaat is van metallurgische activiteiten van uiteenlopende aard, i.e. binnen het smelten of het smeden, maar dit onderscheid is zeer moeilijk te maken. Het lijkt eerder dat mogelijk meerdere vakmannen aan het werk waren of dat de ijzersmelter en smid experimenteerden door de toevoeging van andere mineralen en vloeimiddelen. Wel kunnen we opnieuw vaststellen dat er een evenredig verband bestaat tussen ijzer en mangaan, wat zeer duidelijk zichtbaar is in de chemische samenstelling van de ijzerslakken uit kuil S1191. We kunnen dus ook hier stellen dat ijzeroer gebruikt werd als ertsmateriaal.

Microstructurele samenstelling

Voor de microscopische studie van het ensemble werden stalen (ca. 1 cm^3) genomen van negen fragmenten. Zoals eerder aangehaald is variatie in zowel de chemische als microstructurele samenstelling van ijzerslakken geen abnormaliteit, maar een courant verschijnsel binnen eenzelfde

slak of tussen slakken onderling. De hoofdcomponenten van de microstructuur van ijzerslakken zijn steevast ijzersilicaten (doorgaans fayaliet, $2FeO.SiO_2$) ingebed in een glasachtige matrix (doorgaans anortiet, $CaAl_2Si_2O_8$), ijzeroxiden en al dan niet metallisch ijzer. Deze komen aan bod in zeer uiteenlopende hoeveelheden, samenstellingen en vormen, dewelke afhankelijk zijn van enerzijds de chemische samenstelling van de ruwe materialen en anderzijds de productieomstandigheden zoals de temperatuur, reducerende condities en afkoelsnelheid. Zo kunnen onder de stalen van Herentals enkele groepen onderscheiden worden die (gedeeltelijk) gerelateerd kunnen worden aan de morfologische eigenschappen waargenomen werden op macroscopisch niveau.

De eerste groep bestaat uit drie slakken (LV22PD31, LV22PD34 en LV22PD35). Geen enkele vertoont een homogene samenstelling, maar de microstructuur wordt gekenmerkt door de redelijk dominante aanwezigheid van ijzeroxiden. De hoeveelheid, vorm en grootte van deze ijzeroxiden toont echter een grote variatie tussen de stalen en zelfs binnen eenzelfde staal. Ze kunnen voorkomen als stippen, dendritische structuren (i.e. wüstiet), rechthoekige kristallen (magnetiet) en/of clusters en creëren bij momenten een zekere gelaagdheid in de microstructuur. Deze stalen zijn afkomstig van globulaire fragmenten ijzerslak, als dan niet met een plano-convexe vorm (LV22PD31, LV22PD35) of eerder plat met een opstaande rand waaraan resten aardewerk gehecht zijn (LV22PD34). De hoge waarden voor ijzer, mangaan, fosfor en vanadium in staal LV22PD35 wijzen op een nauw verband met de ertsmineralen en bijgevolg mogelijk op de eerste verwerking van deze. Het is echter moeilijk om met zekerheid te stellen dat deze globulaire plano-convexe ijzerslakken al dan niet het resultaat zijn van het primaire reductieproces of secondaire raffinage of smeden. De hoge hoeveelheid aan ijzeroxiden in dit fragment toont echter aan dat in geval van primaire productie het proces niet bijzonder efficiënt verliep. In dat geval waren de condities in de ovenstructuur niet voldoende reducerend om de ijzeroxide tot metallisch ijzer te reduceren.

Groep 2 (LV22PD29, LV22PD33 en helft van LV22PD28) betreft stalen met een microstructuur, die gekarakteriseerd wordt door de lage aanwezigheid van ijzeroxiden als fijne dendritische structuren en stippen (voornamelijk in de glasachtige matrix en af en toe als fijne veervormige structuren verzonken in de ijzersilicaten). Deze zijn voornamelijk rechthoekige kristallen van middelmatige grootte, wat wijst op een eerder langzame afkoeling van het slakkenmateriaal, al kunnen ze wel wat variatie vertonen doorheen de staal (LV22PD29). In staal LV22PD33 werden een vijftigtal partikels metallisch ijzer geteld op lage vergroting (x5). De drie stalen zijn afkomstig van fragmenten die als knobbelig gedetermineerd werden. De andere helft van staal LV22PD28 wordt gekarakteriseerd door een zeer verglaasde microstructuur, zoals de stalen uit groep 3. Het is echter moeilijk om op basis van de microstructuur deze ijzerslakken toe te schrijven aan een bepaald technologisch proces.

Groep 3 omvat twee stalen (LV22PD27 & LV22PD30) waarvan de microstructuur een zekere verglazing vertoont, dewelke varieert in gradatie doorheen de stalen. De ijzersilicaten zijn prominent aanwezig, zowel als langwerpige als vierkante kristallen, maar hebben een eerder opengewerkte structuur wat in combinatie met de glasachtige matrix een gemarmerd patroon creëert. Het verglaasde uiterlijk is zeer waarschijnlijk het gevolg van de hoge waarden van silica. Dit verklaart eveneens de kleine hoeveelheid aan ijzeroxiden in deze stalen die voornamelijk voorkomen als zeer fijne rechthoekige of sneeuwvlok-achtige kristallen en (rechthoekige) dendritische structuren in de glasachtige matrix. Deze stalen met verglaasde microstructuur zijn afkomstig van twee grotere fragmenten, een potentiële smeedhaardbodem met grote luchtbel (HE S1191 Z1&3 St1) en een eerder globulaire maar plano-

convexe ijzerslak met twee lagen (HE S1191 Z1 St6), die eventueel ook als smeedhaardbodem geïdentificeerd kan worden. Mogelijk werd in het proces waarvan deze ijzerslakken resulteren silica-rijke mineralen toegevoegd als vloeimiddel, dewelke ook de waarden voor koper en kalium verhogen. Staal LV22PD32 vertoont een fijne microstructuur met frequent fijne (langgerekte) dendritische ijzeroxiden (wüstiet), gedeeltelijk met een zekere gelijklopende oriëntatie en een lijn van ijzeroxiden die een gelaagdheid weergeven. Deze microstructuur wijst op een vorming in uiterst reducerende condities en snelle afkoeling en beantwoordt zo volledig deze van een vloeislak. Een kant van het staal heeft echter wel een meer verglaasde microstructuur ten gevolge van een verhoogd silica-gehalte. In deze zone verschijnen de ijzeroxiden eerder als rechthoekige dendritische structuren gebonden aan de matrix. Dit staal is afkomstig van een fragment dat als voorbeeld van een vloeislak werd beschouwd (HE S1191 Z2 St6) en kan op basis van de microstructuur inderdaad als dusdanig geïdentificeerd worden.

6.3.2.5 Samenvatting

Dit metallurgisch ensemble is zonder twijfel afkomstig van primaire en secundaire ijzerproductie, maar de metaalslakken (711 fragmenten, ca. 29 kg) van Herentals-Roggestraat worden gekenmerkt door een relatief hoge graad van fragmentatie. Bijkomend werden deze metaalslakken aangetroffen in 60 verschillende sporen verspreid over vrijwel het gehele opgravingsterrein, en in overwegend kleine hoeveelheden. Grotere hoeveelheden (i.e. meer dan 1 kg) werden enkel in sporen S488 (13 fragmenten, ca. 2,7 kg) en S1396 (12 fragmenten, ca. 2 kg) aangetroffen. De meerderheid van de ijzerslakken, zowel in aantal (95%) als gewicht (77%), komt uit kuil S1191 (462 fragmenten, ca. 17,7 kg). Deze fragmentatie en ruime verspreiding is niet erg bevorderlijk voor de determinatie van de metaalslakken. We kunnen zonder twijfel stellen dat deze afkomstig zijn van ijzerproductie, maar de morfologische kenmerken eigen aan de verschillende types van ijzerslakken zijn zelden voldoende behouden om met zekerheid een bepaald type toe te schrijven aan de fragmenten. Toch zijn er in het ensemble duidelijke voorbeelden van zowel vloeislakken als smeedhaardbodems, welke respectievelijk getuigen van het primaire smelten van het ijzererts en de secondaire raffinage en smeden van de ijzerwolf.

De vloeislakken (ca. 32 fragmenten, 1,6 kg) werden echter in kleine aantallen verspreid over de gehele site aangetroffen en getuigen niet van grootschalige smeltactiviteiten, maar tonen wel aan dat deze in de nabijheid van de site moeten hebben plaatsgevonden. Vrijwel de helft van de ijzerslakken werden echter geclassificeerd als een onbepaald knobbelig/globulair type. De variabiliteit onder deze knobbelige slakken en de morfologische gelijkenissen van een zeker aantal met vloeislakken óf smeedslakken bemoeilijkt de determinatie van het vormingsproces voor dit type van ijzerslak. Deze werden voornamelijk in kuil S1191 aangetroffen, waarin ook een duidelijk voorbeeld van vloeislak aangetroffen werd. Dit zou kunnen wijzen op de interpretatie van deze knobbelige ijzerslakken als amorfe vloei- of reductieslakken. Maar uit dit spoor werden ook enkele grotere fragmenten ingezameld die mogelijk als eerder onregelmatige fragmenten van smeedhaardbodems met resten aardewerk gedetermineerd kunnen worden. Uit dezelfde kuil werden ook redelijk wat fragmenten technisch aardewerk en brandstofasseslakken, al dan niet met ijzerslak, ingezameld. De omvang en aard van het metallurgische ensemble uit kuil S1191 wijst op andere activiteiten dan deze uit de twee andere sporen met iets grotere hoeveelheden van ijzerslakken. Het ging niet om de klassieke

reductieprocessen in een aftapoven of de raffinage of het smeden van de ijzerwolf. Welke processen wel tot deze knobbelige ijzerslakken hebben geleid, dient nog verder onderzocht te worden, maar mogelijk zijn deze activiteiten gelijkaardig aan deze die in de Romeinse periode hebben plaatsgevonden op de *vicus* te Grobbendonk.

De chemische analyse heeft kunnen aantonen dat ijzeroer gebruikt werd. Door het gebrek aan andere onderzochte voorbeelden blijft het een stuk giswerk maar op basis van de knobbelige slakken kunnen we stellen dat het ijzeroer in een laagoven gereduceerd werden tot ijzer en fuseerde tot een ijzerwolf. Voldoende hoge temperaturen werden bereikt om een goed vloeibare slak te vormen die doorheen de ijzerwolf liep en gedeeltelijk uit de oven kon vloeien. Evenwel was het slakkenmateriaal mogelijk niet voldoende vloeibaar om in zijn totaliteit uit de oven te vloeien, ofwel was de ovenstructuur hiervoor niet aangepast. De meerderheid van de ijzerslak werd bijgevolg mogelijk als een stroperige massa uit de oven geharkt, waarbij ook houtskool meegenomen werd en lucht niet kon ontsnappen. Dit zou de vesiculaire knobbelige structuur met houtskoolinclusies kunnen verklaren. De vloeislakken van Nijlen en andere vroegmiddeleeuwse sites hebben echter aangetoond dat de aftapoven reeds gekend was in de regio, en de enkele voorbeelden van volwaardige vloeislakken uit hetzelfde spoor tonen aan de vakman wel over de nodige technologische kennis beschikte. Het is dus een raadsel waarom alsnog knobbelige/globulaire ijzerslakken worden aangetroffen, en het blijft onduidelijk of we deze effectief als primaire smeltslakken moeten interpreteren. De willekeurigheid in de chemische samenstelling van de ijzerslakken toont echter wel aan dat er mogelijk wel wat geëxperimenteerd werd met de toevoeging van andere mineralen om de smelttemperatuur naar beneden te halen of het proces op andere vlakken te bevorderen, en dit was mogelijk niet altijd zo succesvol. De reductie van ijzeroer vond dus mogelijk plaats in of in de directe nabijheid van kuil S1191, vrijwel centraal op het opgravingsterrein, wat doorgaans niet het geval is voor primaire productieprocessen. In tegenstelling tot kuil S1191 wijzen de metallurgische ensembles uit kuilen S488 en S1396 duidelijk op smeedactiviteiten. De uiteenlopende afmetingen en vormen van de smeedslakken wijzen erop dat er geen continuïteit of standaardisatie was in de activiteit, maar door de hoge graad van fragmentatie is dit moeilijk met zekerheid te bepalen.

Het metallurgisch ensemble van Herentals toont een complex beeld dat zonder bijkomend onderzoek niet in zijn volledigheid begrepen kan worden. Zeer waarschijnlijk vonden zowel de primaire als secondaire fasen van het productieproces plaats op of in de nabijheid van de site, maar het is nog onduidelijk welke technologische keuzes gemaakt werden en welke structuren gebruikt werden. Op basis van de hoeveelheid ijzerslakken (ca. 29 kg) kunnen we stellen dat zeker 2,9 kg ijzer vervaardigd werd. We kunnen hier dus niet spreken van grootschalige metallurgische activiteiten, maar wel werd er gebruik gemaakt van grondstoffen die lokaal aanwezig waren. Het blijft eveneens zeer waarschijnlijk dat de eigenlijke primaire productieprocessen net buiten de grenzen van het opgravingsterrein plaatsvonden.

7. Experimentele archeologie (publieksdag)

Sara Claessens

Op 18 september 2022 werd te Vorselaar een publieksdag georganiseerd in functie van het syntheseonderzoek. Het centrale onderwerp van deze dag was ambacht en technologie in (pre)historisch Vlaanderen. Hierbij werd een demonstratie gegeven waarbij er ijzer volgens de (pre)historische technieken geproduceerd en gesmeed werd. Het volledige experiment gebeurde in samenwerking met Remmen BV, Science & Heritage.

7.1 De opbouw van de oven

Met de opbouw van de oven werd enkele dagen voor de publieksdag begonnen. Eerst werd een kuil gegraven zodat de oven een beetje ingegraven kon worden, om zo de hele constructie te kunnen stabiliseren. De oven zelf werd gemaakt uit leem, water en een beperkte bijmenging van stro. Hiermee werden bollen gevormd die rond een cilindervormige houten constructie werden uitgesmeerd (Fig. 7.1 links). Deze houten constructie vormde als het ware het skelet van het leemwerk. De leembollen werden per laag geschrankt aangebracht om de kans op grote barsten te beperken tijdens het stookproces. Deze techniek werd toegepast tot aan de bovenkant van de houten constructie (Fig. 7.1 rechts). In de hoogte versmalde de opbouw om de kans op instorten te vermijden. Langs één kant van de oven werd onderaan een opening vrijgelaten voor het uitvloeien van de ijzerslakken.



Fig. 7.1: De opbouw van de oven.

Daags voor de eigenlijke publieksdag werd een vuur gestart rond en in de oven zodat de oven uitgebakken kon worden (Fig. 7.2). Op deze manier had de leem enkele dagen tijd om te drogen vooraleer de constructie werd blootgesteld aan de hoge temperaturen. Dit was noodzakelijk om de kans op barsten te vermijden. Tijdens het uitbakken ontstond echter wel een grote barst. Om instorting te voorkomen werd er kippengaas rond de oven gewikkeld.



Fig. 7.2: Het uitbakken van de oven.

In het verleden werd bij een traditionele laagoven de luchttoevoer geregeld aan de hand van één of meerdere blaasbalgen. Aangezien deze methode echter zeer arbeidsintensief is en een extra risicofactor met zich meebrengt (in functie van de slaagkans van het experiment), werd ervoor geopteerd de luchttoevoer machinaal te voorzien. Deze constructie werd ontworpen door Klaas Remmen van Remmen BV, Science & Heritage. Rond de onderste helft van de oven werden op gelijke afstand enkele gaten voorzien. Hier werden tijdens het experiment metalen buizen in de oven geleid voor de luchttoevoer (Fig. 7.3).



Fig. 7.3: Zicht op de volledige oven met luchttoevoerinstallatie.

7.2 Het experiment

Op de dag van het experiment werden de ijzerertsbollen gemaakt, bestaande uit magnetiet (Fe_3O_4) in poedervorm, zand en stro (Fig. 7.4). Hierbij werd een mengsel van maïzena en water toegevoegd, zodat er consistente bollen konden worden geproduceerd.



Fig. 7.4: Het produceren ijzerertsbollen.

Hierna werd de schacht van de oven afwisselend gevuld met houtskool en de ijzerertsbollen. De bedoeling van het vervaardigen van ijzerertsbollen was om het ijzererts in poedervorm niet onmiddellijk naar de bodem te laten zakken, maar om dit voldoende tijd te geven om het te verhitten. Idealiter zou dan onderaan de oven de ijzerwolf vormen en zou de ijzerslak langs de opening onderaan uit de oven vloeien, zoals zichtbaar op Fig. 7.5.



Fig. 7.5: Zicht op de opening van de oven waar een ijzerslak aan het vormen is.

Op het einde van het experiment werd gestopt met het toevoegen van ijzerertsbollen en houtskool en werd gewacht totdat de schacht van de oven grotendeels leeg was. Vervolgens werd de luchttoevoer afgesloten en werd, nadat de oven even had kunnen afkoelen, de oven opengebroken om te kunnen controleren of er een ijzerwolf is ontstaan (Fig. 7.6). Jammer genoeg was dit niet het geval. Hieronder wordt dieper ingegaan op de mogelijk reden(en) hiervoor.



Fig. 7.6: Het afbreken van de oven.

7.3 Interactie met het publiek

Op de publieksdag konden de bezoekers de oven zelf in werking zien en zagen ze hoe de ijzerertsbollen werden gemaakt. Ook waren posters aanwezig waarop de werking van de oven werd uitgelegd en dieper werd ingegaan op het ijzerproductieproces. Verder verschaften verschillende medewerkers die waren verbonden aan het project uiteraard bijkomende informatie.

Naast de eigenlijke reconstructie van de laagoven heeft ook dhr. Seerp Visser (Ambachtelijke smedersgilde van België vzw) bijgedragen aan de publieksdag. Hij gaf, samen met twee van zijn studenten, een demonstratie metaalsmeden. Zo konden de bezoekers ook zien hoe de volgende stap in de productie van een metalen voorwerp eruitziet.

7.4 Bevindingen na het experiment

Het is gelukt een werkende laagoven te reconstrueren. Wel is er tijdens het uitbakken een grote barst ontstaan in de wand van de oven. Mogelijk was dit het gevolg van de vlakke houten constructie (skelet) waardoor de klei weinig of geen ruimte had om te krimpen tijdens het uitbakken van de oven. Een mogelijke oplossing hiervoor zou het gebruik van houten twijgen zijn die worden samengebundeld tot een cilinder. Op deze manier zou de leem meer bewegingsruimte krijgen tijdens het uitbakken.

Het experiment leverde op het einde enkele ijzerslakken op, maar een ijzerwolf heeft zich niet ontwikkeld. Een mogelijke verklaring is dat er te veel zand werd toegevoegd aan de ijzerertsbollen, waardoor sprake was van een ongunstige verhouding tussen silica en ijzer. Het aandeel van silica in de ijzerertsbollen was mogelijk dusdanig hoog dat al het ijzer werd opgenomen in de vorming van de slak en er zo geen overschot was van ijzeroxide om tot metallisch ijzer gereduceerd te worden.

8. Synthese van de resultaten

Lente Van Brempt en Nick Van Liefferinge

8.1 Algemeen

De interpretatie van ijzerslakken betreft een zeer complexe materie. De morfologische, chemische en microstructurele samenstellingen worden bepaald door een heleboel factoren in het productieproces en brengen geen duidelijke of uniforme eigenschappen met zich mee. Ook zijn ijzerslakken sterk onderhevig aan corrosie, waarbij ze vaak moeilijk als dusdanig kunnen worden herkend. In de meeste ensembles is het niet onwaarschijnlijk dat minstens 50% van de fragmenten als non-diagnostisch bepaald wordt. Bijgevolg is er weinig algemene kennis van deze materie en wordt een verdere studie van ijzerslakken zelden ondernomen in onze regio. Bij de macroscopische studie in de depots werd al snel duidelijk dat fragmenten inderdaad geregeld foutief gedetermineerd werden als ijzerslak, terwijl het slechts om ijzeroer of sterk verglaasde brokjes materie ging.

Tot op heden werd verondersteld dat er bij het productieproces van ijzer voornamelijk enkel secundaire smeedprocessen plaatsvonden. Pas vanaf de middeleeuwen zien we duidelijk bewijs van een primaire productie in de vorm van vloeislakken. De *case studies* hebben duidelijk aangetoond dat de reductie van ijzererts in de regio van de Antwerpse Kempen al uitgevoerd werd tijdens de Romeinse periode, en heel misschien zelfs tijdens de ijzertijd. Deze veronderstellingen bieden wel een verklaring voor het gebruik van ijzeroer als erts, zoals blijkt uit de chemische samenstelling van de ijzerslakken uit alle perioden.

De ijzerslakken van de **ijzertijd**site Borsbeek-Krijgsbaan zijn allemaal als smeedslakken (dus als relicten van het secundair productieproces) gedetermineerd. Er zijn echter een aantal zaken die een ander licht werpen op de zaak. De hoge waarden in calcium en het vele ijzeroxide wijzen eventueel toch op specifieke praktijken die mogelijk zijn gelinkt aan de reductie van ijzeroer, al dan niet in een eerder primitieve ovenstructuur.

Tijdens de **Romeinse periode**, wanneer de aftapoven in onze gewesten in gebruik raakte, zien we nog geen duidelijke vloeislakken maar wel een ander type van ijzerslak, de zogenaamde knobbelige ijzerslak. Deze knobbelige slakken komen in dermate grote aantallen voor, waardoor ze niet als non-diagnostisch kunnen worden geclassificeerd. Misschien zijn dergelijke knobbelige ijzerslakken het resultaat van een variant van de “reguliere” techniek (met vloeislakken als resultaat) die werd toegepast bij de reductie van ijzeroer.

Tijdens de **vroege middeleeuwen** zijn er meerdere sites die vloeislakken hebben opgeleverd. Dit wijst alvast op een goede controle van de technieken die nodig zijn bij de reductie van ijzererts. Naast vloeislakken leverde de vindplaats Herentals-Roggestraat ook weer de knobbelige variant van de ijzerslakken op, wat ook voor deze periode suggereert dat er alsnog kon worden afgeweken van de “reguliere” productietechniek.

8.2 Beantwoording onderzoeksvragen in het kader van het syntheseonderzoek

Algemene onderzoeksvragen (quickscan):

- ***Welke soort nederzettingstypes (landelijk of stedelijk) getuigen van metallurgische activiteiten?***
  Voor wat betreft sporen van metallurgische activiteiten in de Antwerpse Kempen zijn louter sites bij landelijke nederzettingen vanaf de ijzertijd tot en met de vroege middeleeuwen in het databestand opgenomen. Hoewel het stedelijk centrum van Antwerpen zelf niet behoorde tot de geografische afbakening van het syntheseonderzoek, zal haar bekende pre-stedelijke Romeinse en (vroeg)middeleeuwse nederzettingskern ongetwijfeld een belangrijke ambachtelijke component (incl. primaire en secundaire productie van ijzer) hebben gehad. De omvang van de landelijke nederzettingen die resten hebben opgeleverd van metallurgische activiteiten fluctueert tussen eenvoudige woonplaatsen (geïsoleerd erf) en meer omvangrijke nederzettingsarealen met een complexe infrastructuur (i.e. Grobbendonk, een Gallo-Romeinse *vicus*).

- ***Wat is de samenstelling/aard en omvang van de metallurgische ensembles van de verschillende nederzettingen?***
  Met betrekking tot de samenstelling en omvang van de metallurgische resten kan het databestand worden opgedeeld in twee groepen, nl. sites met een (relatief) hoge dataresolutie en sites met een (relatief) lage dataresolutie. De laatste groep omvat het merendeel van de vindplaatsen waarvan de vondstcontext, de kwaliteit, hoeveelheid en variëteit van het (ingezamelde) vondstmateriaal (om allerhande redenen) onvoldoende accuraat kan worden geïnterpreteerd. Sites met een (relatief) hoge dataresolutie - waaronder de uitgewerkte *case studies* vallen - vormen een minderheid binnen het databestand. De combinatie van een sterk gevarieerd vondstspectrum en voldoende hoge vondstaantallen verhoogt de kans op een accurate interpretatie van de aangetroffen metallurgische overblijfselen. Er dient wel opgemerkt te worden dat duidelijk herkenbare resten van ovenstructuren, die ondubbelzinnig wijzen op een primaire productie van ijzer, nauwelijks of niet worden aangetroffen op landelijke vindplaatsen tijdens de onderzochte perioden. Concentraties van onbewerkte grondstof (brokken ijzeroer) en slakmateriaal (vloei- en smeedslakken) vormen vaak de enige materiële bewijzen voor respectievelijk ontginning en primaire/secundaire productie van ijzer. Ter hoogte van sites met (relatief) hoge dataresolutie werd de volgende samenstelling en omvang van de metallurgische ensembles vastgesteld:

  Site Borsbeek-*Krijgsbaan* (ijzertijd)
  - ijzerslakken
    - » smeedslakken/smeedhaardbodems (18,5 kg)
    - » non-diagnostische fragmenten (6,8 kg)

  Site Grobbendonk-*Vorselaarsebaan* (Romeinse periode)
  - (potentieel) ertsmateriaal/ijzeroer (10,1 kg)
  - ijzerslakken
    - » plano-convexe ijzerslakken (20 kg)

» knobbelige slakken (9,5 kg)
» non-diagnostische fragmenten (3 kg)

Site Oelegem-*Steenbergen* (Romeinse periode)

- (potentieel) ertsmateriaal/ijzeroer (7,9 kg)
- ijzerslakken
  - » smeedslakken/smeedhaardbodems (6,5 kg)
  - » knobbelige/globulaire slakken (3,8 kg)
- versinterde/verglaasde brandstofasse (0,5 kg)
- metallisch ijzer (metalen voorwerpen) (483 g)

Site Nijlen-*Mussenpad* (vroege middeleeuwen)

- (potentieel) ertsmateriaal/ijzeroer (1 kg)
- ijzerslakken
  - » vloeislakken (6 kg)
    - ° *houtskoolrijke ijzerslakken (44 kg)*
  - » smeedslakken/smeedhaardbodems (44 kg)
  - » non-diagnostische fragmenten (2 kg)
- technisch aardewerk (2,9 kg)
- metallurgisch afval/brandstofasse (1,3 kg)
- metallisch ijzer (metalen voorwerpen) (23 g)

Site Herentals-*Roggestraat* (vroege middeleeuwen):

- (potentieel) ertsmateriaal/ijzeroer (8,9 kg)
- ijzerslakken
  - » vloeislakken (1,6 kg)
  - » knobbelige/globulaire slakken (14,3 kg)
  - » smeedslakken/smeedhaardbodems (10,1 kg)
  - » non-diagnostische fragmenten (2,7 kg)
- technisch aardewerk (2,1 kg)
- metallurgisch afval/brandstofasse (2,6 kg)
- metallisch ijzer (metalen voorwerpen) (32 g)

- ***Wat zijn de morfologische, mineralogische en chemische kenmerken van de verschillende slaktypen? Zijn deze het resultaat van het smelten van het erts of het smeden van het ijzer?***
  De macroscopisch duidelijk te herkennen vloeislakken en smeedslakken (smeedhaardbodems) vormen respectievelijke restproducten van het smelten van erts (primaire productie) en het smeden van ijzer (secundaire productie). Tijdens het syntheseonderzoek werd een derde, macroscopisch herkenbaar slaktype onderscheiden, nl. de knobbelige/globulaire ijzerslak. Dit slaktype wordt (zoals de vloeislak) eveneens gelinkt aan (technologisch afwijkende varianten van) primaire productieprocessen, dus het smelten van erts.
  De meest kenmerkende morfologische, mineralogische en chemische attributen van de drie slaktypen zijn als volgt:

• vloeislakken

»*morfologisch*: touwachtige vloeitextuur, al dan niet met blauwachtige schijn, grote langwerpige luchtbellen.

»*mineralogisch*: veelal fijne microstructuur van kleine langwerpige ijzersilicaten in weinig glasachtige matrix (snelle afkoeling).

»*chemisch*: aanwezigheid van drie primaire elementen, nl. ijzer, aluminium en silica + variatie in chemische samenstelling toe te wijzen aan toevoeging van vloeimiddelen (*flux*) en de zuiverheid van de grondstof (ijzeroer/moerasijzererts).

• knobbelige/globulaire ijzerslakken

»*morfologisch*: knobbelig of globulair oppervlak.

»*mineralogisch*: veelal grovere vesiculaire (micro)structuur (in vergelijking met vloeislakken).

»*chemisch*: idem vloeislakken, maar mogelijk hogere waarden voor bepaalde elementen zoals calcium (Ca) en kalium (K) = variatie in chemische samenstelling toe te wijzen aan toegevoegde vloeimiddelen (*flux*) en de zuiverheid van de grondstof (ijzeroer/moerasijzererts).

• smeedslakken/smeedhaardbodems

»*morfologisch*: veelal plano-convexe vormen, vaak aangekoekte brandstofasse/haardwand = vorming van plano-convexe *cake*.

»*mineralogisch*: meer heterogene spreiding en morfologie van de ijzeroxiden en meer clustering van elementen (in vgl. met vloeislakken).

»*chemisch*: verschillen in chemische samenstelling (t.o.v. vloeislakken) die eventueel toegeschreven kunnen worden aan de volgende stappen in het productieproces zoals de raffinage van de ijzerwolf en het smeden van het geraffineerde ijzer tot een voorwerp.

- ***Indien enkel het secundaire proces plaatsvond, waar werd de eerste fase mogelijks uitgevoerd?***

De aanwezigheid van vloeislakken, al dan niet in combinatie met fragmenten van ovenwanden, suggereert dat de primaire productiefase (voor de aanmaak van smeedbaar ijzer) in de nabije omgeving van de vondstlocatie zal zijn uitgevoerd. Wel dient rekening te worden gehouden met het feit dat dergelijk slakmateriaal van elders aangevoerd kon worden en gebruikt als (weg)verharding of als funderingspakket. Een kritische analyse van de eigenlijke vondstcontext op siteniveau is steeds noodzakelijk.

De ontginningsplaatsen van de grondstof (ijzeroer) zijn veelal gelinkt aan zeer natte zones in het (paleo)landschap. De aard van *offsite* activiteiten is, wegens gebrek aan opgravingsgegevens, in dergelijke zones vooralsnog slecht gekend. Het kan niet worden uitgesloten dat er ook in of rondom natte landschappelijke eenheden wel degelijk primaire ijzerproductie heeft plaatsgevonden. Brandgevaarlijke ambachtelijke activiteiten (zowel de

eigenlijke productie van ijzer als het smeden ervan) waren in regel buiten de eigenlijke woonzones ingericht, een gegeven dat voor alle (pre)historische periodes van toepassing is.

- ***Wat is de schaal waarop ijzer geproduceerd werd? Was het een éénmalige of langdurige onderneming?***
  De schaal van ijzerproductie was onlosmakelijk verbonden met de aard, omvang en levensduur van de nederzetting (zie eerste onderzoeksvraag). Voor wat betreft Gallo-Romeinse nederzettingen met een complexe infrastructuur en relatief lange levensduur (*vici*) zal de metallurgische activiteit een langdurige onderneming zijn geweest, met een focus op een regionale afzetmarkt van de halffabricaten (zie ook volgende onderzoeksvraag).

- ***Wat zijn de doeleinden van de productie? Lokaal gebruik of export?***
  Aangezien het databestand van onderzochte vindplaatsen slechts enkele landelijke sites met relatief grote hoeveelheden slakmateriaal omvat (i.e. Nijlen-Mussenpad), wordt geconcludeerd dat de primaire en secundaire productie op de kleinere landelijke nederzettingen in regel voor lokaal gebruik plaatsvond. Hierbij kan worden gedacht aan de vervaardiging van utilitaire metalen voorwerpen die noodzakelijk waren voor het levensonderhoud van de lokale gemeenschappen. Binnen de meer omvangrijke nederzettingen met complexe infrastructuur (i.e. de Gallo-Romeinse *vicus* van Grobbendonk) zal de focus van meer langdurige metallurgische activiteiten zijn gericht op een regionale afzetmarkt van de halffabricaten (zie vorige onderzoeksvraag).

- ***Waar in de nederzettingen vonden deze metallurgische activiteiten plaats?***
  Voor het beantwoorden van deze vraag kunnen de vroegmiddeleeuwse vindplaatsen van Nijlen-Mussenpad en Herentals-Roggestraat als referentie worden gebruikt. Op beide vindplaatsen zijn geen plattegronden van woonhuizen aangetroffen nabij sporen of structuren die waren geassocieerd met metallurgisch materiaal. De metallurgische activiteiten op de site van Herentals-Roggestraat waren gelinkt aan structuren die zijn geïnterpreteerd als hutkommen, terwijl in het geval van Nijlen-Mussenpad grote hoeveelheden slakmateriaal als afvaldeposities werden aangetroffen in de vullingen van waterputten en kuilen *sensu lato*. Beide sites tonen aan dat brandgevaarlijke ambachtelijke activiteiten (logischerwijs in regel) buiten de eigenlijke woonzones waren ingericht, een gegeven dat voor alle periodes van toepassing is. Sites met een meer uitgebreide en complexe infrastructuur (i.e. Gallo-Romeinse *vici*) omvatten effectief aparte ambachtelijke zones of wijken waar o.a. metallurgische activiteiten hebben plaatsgevonden.

Specifieke onderzoeksvragen + vraagstellingen bij de microstructurele en chemische analyse (case studies):

- ***Welk type erts werd er gebruikt? Waar werd het erts mogelijks gewonnen?***
  In de regio van de Antwerpse Kempen werd ijzeroer (of moerasijzererts) ontgonnen als erts voor ijzerproductie. Dit ijzeroer vormt/vormde zich in de zandstreek relatief ondiep in de bovengrond, voornamelijk ter hoogte van gradiëntzones in het (paleo)landschap, op de grens van (lager gelegen) natte en (hoger gelegen) droge gronden.

  Locaties met ijzeroer kunnen langdurig ontgonnen zijn geweest. Op dergelijke plaatsen in het landschap kan eventueel ook ijzerproductie hebben plaatsgevonden. Andere locaties zullen slechts eenmalig bezocht zijn geweest, met relatief weinig sporen van ontginning of primaire ijzerproductie. De meest plausibele (werk)hypothese is dat het ontgonnen ijzeroer werd getransporteerd naar een bewerkingsplaats elders in het landschap, maar relatief dicht bij de eigenlijke woonzones. De plaats waar effectief ijzerproductie heeft plaatsgevonden hoeft dus niet noodzakelijk overeen te stemmen met de ontginningslocatie.

- ***Werd het erts ook aangetroffen op de sites? Werd de eerste behandeling van het erts ook toegepast? Wat hield deze eerste stap in het proces concreet in?***
  Op de site van Borsbeek-Krijgsbaan (ijzertijd) na werd steevast de aanwezigheid van ruwe brokken ijzeroer vastgesteld in de ensembles. Hoewel de ijzerslakken van de site Borsbeek-Krijgsbaan allemaal als smeedslakken (dus als relicten van het secundair productieproces) zijn gedetermineerd wijzen de hoge waarden in calcium en het vele ijzeroxide eventueel toch op specifieke praktijken die mogelijk zijn gelinkt aan de reductie van ijzeroer, al dan niet in een eerder primitieve ovenstructuur. Vanaf de Romeinse periode kreeg men de technieken bij het reductieproces van ijzeroer duidelijk onder de knie, met de aanwezigheid van duidelijk gevormde vloeislakken als materieel bewijs.

- ***In wat voor constructies werden de ertsen gesmolten of het ijzer gesmeed?***
  Het reductieproces van ijzererts werd in de (pre)historische perioden uitgevoerd in reductieovens/smeltovens die afhankelijk van de (Europese) regio of (pre)historische cultuur een specifieke opbouw kenden, nl. komovens, putovens, laagovens, koepelovens en ondergrondse ovens. Een gemeenschappelijk kenmerk was dat deze ovens gestookt werden met houtskool en voorzien waren van een constante luchtstroom (door middel van openingen in de ovenwand). De verdere bewerking van het bekomen product - de ijzerwolf - gebeurde in verhittingshaarden. In dergelijke constructies werd de ijzerwolf opnieuw verhit tot een temperatuur waarbij het metallisch ijzer een austenitische toestand bereikte (vanaf meer dan 900°C) en de fayalitische slak (= ongewenst slakkenmateriaal) terug vloeibaar werd (vanaf meer dan 1200°C). Net zoals bij de reductiesmelt verzamelt het ongewenste slakkenmateriaal zich onderaan in de verhittingshaard. Verhittingshaarden zijn moeilijk te identificeren in het archeologisch bestand. Strikt genomen waren er immers geen bijzondere constructies noodzakelijk voor het opnieuw verhitten van de ijzerwolf of het smeden van het ijzer. Met een houtskoolhoop en een luchtstroom aangedreven door blaasbalgen zouden de benodigde condities al verwezenlijkt kunnen worden. Veelal wijst het voorkomen van hevig verglaasd

aardewerk (al dan niet samengesmolten met slakmateriaal) op dergelijke structuren. Ook fragmenten van blaasbalgen (*tuyères*) worden eerder gelinkt aan verhittingshaarden.

- ***Welke vorm had de reductieoven of smeltoven, en uit welk materiaal bestond deze?***
  Afhankelijk van de (Europese) regio of (pre)historische cultuur zijn verschillende ovenvormen gebruikt, nl. komovens, putovens, laagovens, koepelovens en ondergrondse ovens. Het gezamenlijk kenmerk is dat ze bestonden uit een gesloten ruimte (vervaardigd in gebakken leem, klei of steen) gevuld met erts en houtskool met een voorziening van luchttoevoer (al dan niet in de vorm van blaasbalgen, veelal in gebakken leem of klei).

- ***Welke temperatuur werd er bereikt om een vloeibare slak te vormen en metallisch ijzer te bekomen? Werd een flux (i.e. vloeimiddel: bestanddeel dat de smelttemperatuur verlaagt) gebruikt bij het reductiesmelten?***
  Bij een temperatuur van ca. 1176˚C worden het metallisch ijzer en het ganggesteente van elkaar gescheiden. Terwijl het metallische ijzer (smeltpunt 1539˚C) zijn vaste toestand behoudt, reageert de silica uit het ganggesteente met een deel van het wüstiet (FeO) en vormt zo fayaliet ($2FeO.SiO_2$), de hoofdcomponent van de metaalslak.

  IJzererts is echter meestal *self-fluxing*, wat betekent dat de elementen in het ganggesteente en het ijzeroxide in de juiste stoichiometrie (verhouding) aanwezig zijn om een fayalitische slak te vormen met een laag smeltpunt. Indien nodig kunnen vloeimaterialen met relevante elementen toegevoegd worden. Bepaalde elementen zoals calcium (Ca), magnesium (Mg) en mangaan (Mn) kunnen eventueel het ijzer in de slak vervangen, waarbij het rendement van het smeltproces verhoogd wordt.

- ***Getuigen de metallurgische resten van een kwaliteitsvol proces of eerder ondermaatse kennis?***
- ***In het geval van een chronologische vergelijking, is er een vooruitgang in efficiëntie van het productieproces waar te nemen?***
- ***In geval van een geografische vergelijking, kunnen we een duidelijk onderscheid maken tussen nederzettingstype op basis van technologische kwaliteit en schaal van ijzerproductie?***
- ***Was het toegepast technologisch proces kenmerkend voor de regio en het tijdskader?***
  Een minder kwaliteitsvol halffabricaat (ijzerwolf) kan worden verwacht bij de vroegste ovenstructuren in onze gewesten, waarbij de slak en de ijzerwolf fysiek (nog) niet volledig gescheiden konden worden. In de slakken van Borsbeek-Krijgsbaan (ijzertijd) zijn er elementen die wijzen op dergelijk (relatief minder goed geslaagd) reductieproces van ijzer. Eén van de kenmerken zou de hoge hoeveelheid ijzeroxiden in primaire ijzerslakken kunnen zijn, wat vaak wordt gezien als een indicatie van een minder efficiënt uitgevoerd reductieproces.

  De aanwezigheid van macroscopisch duidelijk herkenbare vloeislakken in een ensemble van metallurgisch materiaal wijst dan weer op een kwaliteitsvol productieproces waarbij men de techniek beheerste. Onderzochte vindplaatsen binnen het databestand die dergelijke vloeislakken opleverden dateren uit de vroege middeleeuwen. Het gaat om landelijke nederzettingen met metallurgische activiteiten (op relatief korte afstand van de eigenlijke woonzones), nl. Nijlen-Mussenpad en Herentals-Roggestraat. Hypothetisch gezien wordt de

voorafgaande Gallo-Romeinse periode beschouwd als een scharniermoment in de evolutie van lokale (generalistische) ijzerproductie naar gespecialiseerde productie (sterk oplopende *knowhow*) met het oog op een regionale afzetmarkt van kwaliteitsvol (smeed)ijzer. De eerste (relatief) grootschalige productie van kwaliteitsvol ijzer wordt verwacht in nederzettingen met een langdurige continue occupatie, uitgebreide en complexe infrastructuur (Gallo-Romeinse *vici*). Dit gebeurde dan veelal in afzonderlijke ambachtelijke wijken of zones.

8.3 Bijkomende onderzoeksvragen na uitvoering van het syntheseonderzoek

Hypothetisch:

- ***De Gallo-Romeinse periode kan worden beschouwd als een scharniermoment in de evolutie van lokale ijzerproductie naar gespecialiseerde productie (oplopende knowhow) met het oog op een regionale afzetmarkt.***
    - *Kan deze evolutie in knowhow en specialisatie op basis van een vergelijkende studie van ijzerslakken worden geschetst voor wat betreft nederzettingen met een langdurige continue occupatie, uitgebreide en complexe infrastructuur (vici) op Vlaams grondgebied?*

- ***Dit syntheseonderzoek heeft betrekking op een regio waar op diverse locaties exploiteerbaar moerasijzererts of ijzeroer als grondstof aanwezig was/is in de ondergrond. Elders in Vlaanderen komt deze specifieke grondstof niet voor (of was/is deze niet efficiënt exploiteerbaar). Mogelijk werden dan andere grondstoffen gebruikt (bvb. ijzerzandsteen) of zijn er grondstoffen van elders ingevoerd (bvb. het gebied tussen Samber en Maas).***
    - *Indien er in de regio van de vindplaats geen ijzeroer van nature voorkomt in de ondergrond, zijn er indicaties voor het gebruik van andere lokale/regionale grondstoffen waaruit ijzer kan worden geproduceerd? Zo ja, welke grondstoffen komen hiervoor in aanmerking? Zo nee, zijn er indicaties voor de import van grondstoffen uit andere regio's?*
    - *In hoeverre wijkt de (chemische en mineralogische) samenstelling van het productieafval in regio's zonder ijzeroer af ten opzichte van productieafval waarbij duidelijk ijzeroer als grondstof werd gebruikt (= vergelijking met de analyseresultaten van dit syntheseonderzoek)? In hoeverre komt de (chemische en mineralogische) samenstelling van het productieafval overeen met deze van de mogelijke lokale/regionale of geïmporteerde grondstoffen?*

Methodologisch:

- ***Het chemisch en mineralogisch onderzoek gebeurde in het kader van het syntheseonderzoek slechts op een selectie van ijzerslakken. De resultaten verschaften een meer complex beeld van de (initieel verwachte) verhoudingen van chemische en mineralogische samenstellingen van de (macroscopisch gelijkaardige) ijzerslakken onderling. In het geval van toekomstig natuurwetenschappelijk onderzoek:***

- *Kunnen specifieke (verhoudingen van) chemische en mineralogische samenstellingen (van macroscopisch gelijkaardige ijzerslakken) worden gelinkt aan technologische varianten (bv. gebruik van verschikkende soorten fluxmaterialen) bij de primaire en secundaire productieprocessen? Zo ja, kunnen deze (afwijkende) technologische varianten duidelijk(er) worden gedefinieerd?*
- *Kunnen de knobbelige/globulaire ijzerslakken worden beschouwd als het resultaat van een specifieke technologische variant bij de primaire ijzerproductie? Zo ja, kan deze (afwijkende) technologische variant duidelijk(er) worden gedefinieerd?*

8.4 Onderzoeksvragen als leidraad bij veldwerk en uitwerking

- **Welke vondstcategorieën (ruwe ertsen, ijzerslakken, metallurgisch afval, technisch aardewerk, halffabricaten, afgewerkte voorwerpen) zijn er op de vindplaats aanwezig?**
    - *In hoeverre is sprake van een voldoende representatief aantal vondstcategorieën (of combinatie van bepaalde vondstcategorieën) die een ondubbelzinnige interpretatie als vindplaats met (pre)historische ijzerproductie verantwoord?*

- **In welke mate zijn de individuele vondstcategorieën (ruwe ertsen, ijzerslakken, metallurgisch afval, technisch aardewerk, halffabricaten, afgewerkte voorwerpen) aanwezig? (= kwantificatie)**
    - *In hoeverre levert een magneettest een duidelijk onderscheid op tussen ruwe ertsen (niet magnetisch) en metaalslakken (veelal zwak tot matig magnetisch)?*
    - *Wat is het totaal aantal vondsten per categorie?*
    - *Wat is het totaalgewicht per vondstcategorie?*

- **Aan welke soort van metallurgische activiteiten kan het ensemble toegeschreven worden?**
    - *Resulteren de ijzerslakken en het overige metallurgisch afval van de primaire of secundaire stappen in het (pre-)historische productieproces, i.e. het smelten van de ijzererts of het secundaire smeden van de ijzerwolf?*

- **Wat zijn de diagnostische attributen binnen het metallurgisch ensemble op site- en/of contextniveau?**
    - *In welke mate zijn er binnen het metallurgisch ensemble diagnostische attributen aanwezig (= kwantificatie van de attributen)*

- **Op welke schaal (huishoudelijk, surplusproductie, industrieel) gebeurde de (pre)historische ijzerproductie?**
    - *Kan de schaal van de (pre)historische ijzerproductie worden afgeleid uit de kwantificatie (aantal, gewicht) van de vondstcategorieën?*

- **Waar op de (pre)historische vindplaats vonden de metallurgische activiteiten plaats?**
    - *Situeerde de "workshop" zich centraal in de nederzetting of toch eerder aan de rand?*
    - *Indien enkel aanwijzingen van secundaire smeedactiviteiten aangetroffen werden, waar zou eventueel het primaire smelten hebben plaatsgevonden?*

- **Wat is de positie/afstand van de vindplaats ten opzichte van de eenheden binnen het regionale (paleo)landschap waar potentiële ontginningsplaatsen van ruwe ertsen (ijzerhoudende mineralen en gesteenten op geringe diepte) en brandstof (hout) aanwezig zijn?**
    - *Zijn er aanwijzingen voor een (pre)historische ontginning van ruwe ertsen of houtskoolproductie als brandstof (meilers) binnen de contouren van het opgravingsareaal?*

- **In hoeverre blijkt de typologische sortering (reductieslakken, smeedslakken, overig productieafval) van de metaalslakken op basis van macroscopische waarnemingen (door de veldarcheoloog) voldoende accuraat of zijn er bijkomende determinaties op basis van microscopische waarnemingen (door specialisten) noodzakelijk?**
    - *Volstaat een macroscopisch onderzoek (door de veldarcheoloog) voor een basisidentificatie van de aard van de uitgevoerde metallurgische activiteit?*
    - *Welke criteria bepalen of een specialistisch (natuurwetenschappelijk) onderzoek van de metaalslakken noodzakelijk/nuttig/wenselijk is binnen het regulier archeologietraject? (= kosten-batenanalyse op context- of siteniveau)*
        - *Is het noodzakelijk of nuttig om de herkomst van de ertsen op de vindplaats te bepalen?*
        - *Is het noodzakelijk of nuttig om de (ontwikkeling van) (productie)technieken op de vindplaats te bepalen?*

9. Conclusies en aanbevelingen

Nick Van Liefferinge

Verschillende (pre)historische vindplaatsen in de Antwerpse Kempen - die dateren vanaf de ijzertijd tot en met de vroege middeleeuwen - leverden materiële resten op die wijzen op ijzerproductie en/of -verwerking. Slechts ¼ (18%) van alle vindplaatsen met metallurgisch materiaal (n= 27) konden worden geselecteerd voor verdere (natuur)wetenschappelijke analyse, op basis van de hoofdcriteria 'representatieve hoeveelheid' en 'datering'. Dergelijk criteria zijn noodzakelijk gebleken voor een accurate interpretatie van de uitgevoerde metallurgische activiteit. Het gaat in totaal om vijf vindplaatsen die zijn geclassificeerd als sites met een (potentieel) hoge dataresolutie:

- Site Borsbeek-*Krijgsbaan* (ijzertijd)
- Site Grobbendonk-*Vorselaarsebaan* (Romeinse periode)
- Site Oelegem (Ranst)-*Steenbergen* (Romeinse periode)
- Site Nijlen-*Mussenpad* (vroege middeleeuwen)
- Site Herentals-*Roggestraat* (vroege middeleeuwen)
- Site Vosselaar-*Roggestraat* (datering metallurgische context onbekend)[25]

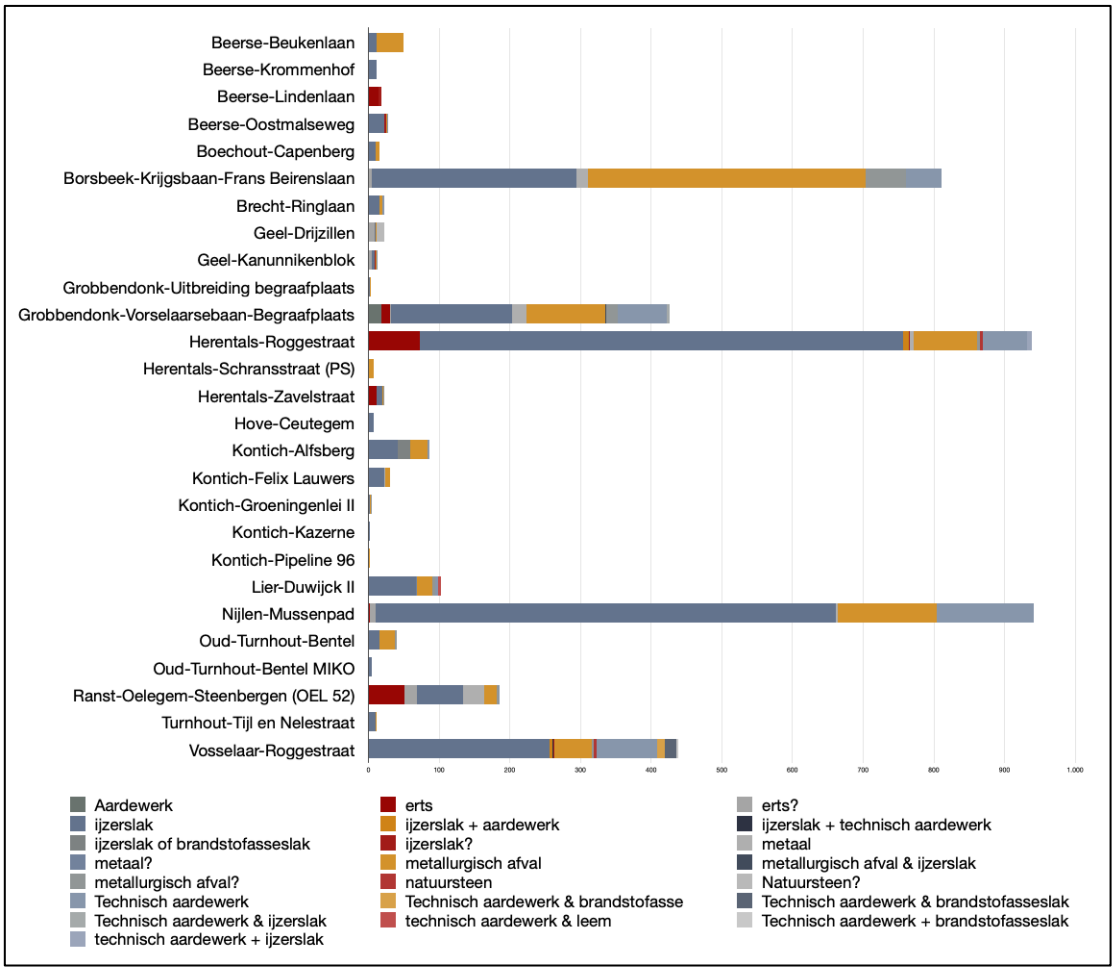


Fig. 9.1: Schematisch overzicht van het metallurgisch ensemble per site.

[25] Datering onbekend tijdens de selectie van de *case studies*.

IJzerslak (*sensu lato*) vormt de meest frequent aangetroffen materiaalgroep in (pre)historische metallurgische contexten. Deze vondsten (incl. onbewerkte erts) worden in regel goed herkend tijdens het veldwerk en worden als relevant geachte archeologische indicatoren in de meeste gevallen zorgvuldig ingezameld. Voor wat betreft de basisuitwerking van dergelijke vondstensembles is het beeld wat problematischer. Bij aanvang van het syntheseonderzoek merkten we immers op dat metallurgisch vondstmateriaal in de archeologische depots veelal zonder enige vorm van basisuitwerking wordt aangeleverd. Op zich is dit niet zo verwonderlijk, want tot dusver bestaat er nog geen specifieke leidraad waarin een dergelijke basisuitwerking (of minimale uitwerking) wordt aangeboden.

Tijdens de voortgang van het syntheseonderzoek groeide het besef dat een minimale uitwerking zou kunnen bestaan uit het groeperen en kwantificeren van ijzerslakken op basis van (al dan niet in doorsnede) macroscopisch herkenbare attributen, vooraleer de ensembles worden aangeboden in de depots. Dit maakt een accurate interpretatie van de aard van de metallurgische activiteit mogelijk, waardoor alvast een onderscheid kan worden gemaakt in primaire (smelten) en secundaire (smeden) productie van ijzer. De volgende types van ijzerslakken zouden op basis van een macroscopische (archeologische) analyse in de meeste gevallen kunnen worden herkend:

- IJzeroer en/of -zandsteen (erts)
- Vloeislakken (primaire productie)
- Knobbelige/globulaire ijzerslakken (primaire of secundaire productie?)
- Smeedslakken/smeedhaardbodems (secundaire productie)

Een archeologische context (geïsoleerd bodemspoor of structuur) wordt beschouwd als representatief voor een verdere basisuitwerking als er meerdere (of veel) ijzerslakken in associatie met andere dateerbare artefacten en/of ecofacten in de context aanwezig zijn. Gelet op het vooralsnog beperkte kennisbeeld mag er tijdens het veldwerk en de deponering geen selectie van het metallurgisch vondstmateriaal plaatsvinden. Indien aanwezig is het belangrijk dat ook (een selectie van) de onbewerkte grondstof (ertsen) wordt ingezameld. In lijn met de resultaten van het syntheseonderzoek wordt verwacht dat minstens ¼ van het totaal aantal contexten met meerdere (of veel) ijzerslakken in aanmerking komt voor een basisuitwerking.

De ijzerslakken van de vijf geselecteerde vindplaatsen werden na een basisuitwerking onderworpen aan verder *post-excavation* onderzoek in de vorm van natuurwetenschappelijke analyses. De voornaamste doelstelling betrof het controleren van de mogelijkheid of ijzerslakken op basis van hun (chemische en mineralogische) samenstelling en profieldoorsneden konden worden toegewezen aan specifieke types (en dus primaire of secundaire productieprocessen). De resultaten verschaften een meer complex beeld van de (initieel verwachte) verhoudingen van chemische en mineralogische samenstellingen van de (macroscopisch gelijkaardige) ijzerslakken onderling. Dit gegeven wordt vooralsnog geïnterpreteerd als het (al dan niet gelijktijdig) bestaan van verschillende technieken bij de primaire ijzerproductie op een specifieke vindplaats. Een materiële weerslag van deze verschillende productietechnieken zou het onderscheid tussen typische vloeislakken en de knobbelige/globulaire slakken kunnen zijn. Het samen voorkomen van beide slaktypes werd overigens op de vroegmiddeleeuwse vindplaats van Herentals-*Roggestraat* vastgesteld.

Tot slot kan het syntheseonderzoek worden beschouwd als representatief voor het schetsen van de *knowhow* waarover de (pre)historische gemeenschappen beschikten met betrekking tot ijzerproductie en -verwerking. Hoewel het niet kan worden uitgesloten dat een volwaardig en efficiënt productieproces reeds werd toegepast in (bepaalde Europese) ijzertijdgemeenschappen zal de productietechniek vanaf de Romeinse periode in onze gewesten ruimer verspreid raken. Hierbij dient te worden opgemerkt dat een verdere specialisatie binnen de gemeenschappen wellicht recht evenredig verliep met verfijning van de productietechnieken doorheen de (pre)historische periode. Dit zou kunnen betekenen dat hoogwaardig smeedijzer als grondstof voor de productie van gebruiksvoorwerpen binnen de context van een markteconomie ten gronde schaarser of duurder werd. De beschikbaarheid van ijzeroer als erts bleef daarentegen nagenoeg constant, althans voor wat betreft de regio van de Antwerpse Kempen.

Vooral op sites met een meer uitgebreide en complexe infrastructuur (Gallo-Romeinse *vici*, i.e. site Grobbendonk-Vorselaarsebaan) hebben er langdurige en intensieve metallurgische activiteiten plaatsgevonden ter hoogte van duidelijk afgebakende ambachtelijke zones of wijken, met een focus op de regionale afzetmarkt. De duidelijk gevormde vloeislakken die zijn aangetroffen op de sites van Nijlen-Mussenpad en Herentals-Roggestraat tonen aan dat de knowhow in ieder geval niet was verloren tijdens de vroege middeleeuwen. Integendeel, de kwantiteit en het gevarieerd vondstspectrum van Nijlen-Mussenpad suggereert dat er op deze landelijke site ijzer werd geproduceerd door middel van verschillende productietechnieken (associatie van vloeislakken en knobbelige/globulaire slakken) en dat deze “specialisten” mogelijk een regionale afzetmarkt van kwaliteitsvol (smeedbaar) ijzer op het oog hadden.

Publiekswerking/resultaten experimentele archeologie

Op 18 september 2022 werd in Vorselaar een publieksdag georganiseerd. Het centrale onderwerp van deze dag was ambacht en technologie in (pre)historisch Vlaanderen, waarbij aan de toeschouwers werd getoond hoe ijzer volgens de (pre)historische technieken werd geproduceerd en gesmeed.

Het was die dag alvast gelukt om een werkende laagoven te reconstrueren. De schacht van de oven werd afwisselend gevuld met houtskool en ijzerertsbollen (poedervormige magnetiet in consistente bollen van zand, stro, maïzena en water). De bedoeling van het vervaardigen van ijzerertsbollen was om het ijzererts in poedervorm niet onmiddellijk naar de bodem te laten zakken, maar om dit voldoende tijd te geven om het te verhitten. Idealiter zou zich dan onderaan de oven ijzerwolf vormen en zou de ijzerslak langs de opening onderaan uit de oven vloeien. Het experiment leverde op het einde enkele ijzerslakken op, maar een ijzerwolf (halffabricaat smeedijzer) heeft zich niet ontwikkeld. Een mogelijke verklaring is dat er te veel zand werd toegevoegd aan de ijzerertsbollen, waardoor sprake was van een ongunstige verhouding tussen silica en ijzer. Het aandeel van silica in de ijzerertsbollen was mogelijk dusdanig hoog dat al het ijzer werd opgenomen in de vorming van de slak en er zo geen overschot was van ijzeroxide om tot metallisch ijzer gereduceerd te worden.



Fig. 9.2: De gereconstrueerde oven tijdens de publieksdag (18 september 2022) in Vorselaar.

10. Bibliografie

ACKE B., BRACKE M., FONTEYN P. & WYNS G. 2022: *Eindverslag Meerhout Aardbezienstraat*, A&B Archeologie, Moerbeke-Waas.

ALMA X.J.F., VAN ASCH N., MELKERT M.J.A., VERNIERS L.P., VERNIMMEN T. & ZUIDHOFF F.S. 2017: *Bewoningssporen uit de metaaltijden aan de Draaiboomstraat in Herentals. Een archeologisch onderzoek*, VEC Rapport 52, Brugge.

ALMA X.J.F. & W. ROESSINGH 2017: *Boerderijen en paden langs de Schransstraat in Herentals. Archeologisch onderzoek naar nederzettingsresten uit de metaaltijden tot en met de Nieuwe tijd*, VEC Rapport 49, Brugge.

ANNAERT R., BOURGEOIS J., CHERRETTÉ B., CREEMERS G., DE MULDER G., VAN IMPE L. & WARMENBOL E. 2008a: 'Onderzoeksbalans archeologie in Vlaanderen, versie 1, 11/12/2008: Bronstijd/Ijzertijd', *Onderzoeksrapporten agentschap Onroerend Erfgoed nr. 137*, Brussel.

ANNAERT R., DE GROOTE K. & HOLLEVOET Y. (red.) 2008b: 'Onderzoeksbalans archeologie in Vlaanderen, Versie 1, 29/10/2008: Vroege en volle middeleeuwen', *Onderzoeksrapporten agentschap Onroerend Erfgoed nr. 168*, Brussel.

ANNAERT R. 1993: 'Een Viereckschanze op de Alfsberg te Kontich (prov. Antwerpen): meer dan een cultusplaats', in *Archeologie in Vlaanderen* vol. 3, p. 53-125.

ANNAERT R. 1995/6: 'De Alfsberg te Kontich (prov. Antwerpen): eindrapport', in *Archeologie in Vlaanderen* vol. 5, p. 41-68.

ARTS N., HUIJBERS A., LEENDERS K., SCHOTTEN J., STOEPKER H., THEUWS F. & VERHOEVEN A. 2007: 'De Middeleeuwen en vroegmoderne tijd in Zuid-Nederland', in: *Nationale Onderzoeksagenda Archeologie*, Amsterdam.

BARON S. & COUSTURES M.-P. 2015: 'Apports et limites des méthodes isotopiques pour restituer la circulation des métaux aux périodes anciennes', in *Les nouvelles de l'archéologie* vol. 138, p. 35–39.

BAZELMANS J. 1990: 'Een Germaanse nederzetting uit de 4de en 5de eeuw', in BAZELMANS J. & THEUWS F. (red.): *Tussen Zes Gehuchten. De Laat-Romeinse en middeleeuwse bewoning van Geldrop-'t Zand*, Amsterdam, p. 24-31

BEEGHS T. 1982: *Zevenhonderdvijftig jaar geschiedenis van Borsbeek in een notendop, 1232-1982*, s.l. Geraadpleegd via: http://www.docc-borsbeek.be/borsbeek-in-een-notendop.

BIEMANS, K. 1972: *De Romeinse bewoning in de provincie Antwerpen. Meer bepaald tussen Schelde, Rupel, Nete en Aa*, Ongepubliceerde licentiaatsverhandeling KU Leuven, Leuven.

BOGEMANS F. 2005: *Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 2-8 Meerle - Turnhout*, Brussel.

BOREEL G., VAN KERCKHOVE J. & SCHURMANS M. 2007: 'Kalkmortel, slooppuin en keramisch bouwmateriaal', in: SCHURMANS M. & VERHELST E., *Oudheden uit Odijk. Bewoningssporen uit de late ijzertijd, Romeinse tijd en Merovingische tijd aan de Singel West/Schoudermantel*, Zuidnederlandse Archeologische Rapporten vol. 30, Amsterdam, p. 156-158.

BORGERS B. 2014: *Roman Pottery Production in the Civitas Tungrorum, Belgium, during the 1st-3rd century AD: An Integrated Compositional Approach*, Doctoraal Proefschrift, Vrije Universiteit Brussel.

BOURGEOIS I., ERVYNCK A., ANNAERT R., BOUDIN M., DEFORCE K., DEGRYSE P., DE WOLF H., HANECA K., HÄNNINEN K., JACOBS M., VANDEN BERGHE I., VAN DER MEER W., VAN NEER W. & VAN STRYDONCK M. 2015: *Cultureel-archeologisch en ecologisch onderzoek van twee vroegmiddeleeuwse waterputten uit Nijlen: landschap en landgebruik*, Relicta 12: Archeologie, Monumenten- en Landschapsonderzoek in Vlaanderen, Brussel.

BRACKE M., MESTDAGH B., SCHELTJENS S. & WYNS G. 2013: *Archeologische opgraving Brecht AZ Ringlaan (prov. Antwerpen), Basisrapport*, Monument Vandekerckhove, Ingelmunster.

BREES, N. 1993: *De Antwerpse Kempen in de Gallo-Romeinse en merovingische periode*, Ongepubliceerde licentiaatsverhandeling KU Leuven, Leuven.

BRUGGEMAN J. & REYNS N. 2013: 'Archeologisch onderzoek aan de oostzijde van de vicus van Grobbendonk, Nijverheidsstraat 2-4 (zuiveringsstation) (Antw.)', *Signa* 2, Brussel, p. 20-23.

BRUGGEMAN J., REYNS N. & VAN BUGGENHOUT J. 2020: *Eindverslag archeologische opgraving Grobbendonk – Vorselaarsebaan, uitbreiding begraafplaats*, Rapporten All-Archeo bvba 1033, Bornem.

BUFFEL P., VANDENBERGHE N. & VACKIER M. 2009: *Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 23 Mechelen*, Brussel.

CHAPELOT J. 1980: 'Le fond de cabane dans l'habitat rural Ouest-Européen', Etat des questions, Archéologie Médiéva*le* vol. X, p. 5-57.

CLAASSEN A. 1998: *Een belangrijke Gallo-Romeinse nederzetting aan het Kolisbos. Tussentijds verslag van de opgravingen aan de grens Neerpelt –Sint-Huibrechts-Lille*, Overpelt.

CLAESSENS L., REYNS N., CLERBAUT T. & BRUGGEMAN J. 2022: *Eindverslag archeologische opgraving vicus Grobbendonk – Mercuriussite (Vorselaarse baan/Nijverheidsstraat)*, Bornem.

CRADDOCK P.T. 2003: 'Cast Iron, Fined Iron, Crucible Steel: Liquid Iron in the Ancient World', in: CRADDOCK P.T., LANG J. (red.), *Mining and Metal Production Through the Ages*, Londen, p. 231–257.

CREW P. 1995: *Bloomery iron smelting slags and other residues*, Historical Metallurgy Society: Archaeology Datasheet 5, s.l.

CREW P. 1996: *Bloom refining and smithing slags and other residues*, Historical Metallurgy Society: Archaeology Datasheet 6, s.l.

CRYNS J., LALOO P., NOENS G., RENIERE S., CRUZ F., MIKKELSEN J., ALLEMEERSCH L., TEETAERT D., DE BRANT R., VAN GOIDENSHOVEN W., VANDERMEER W. & LANGE S. 2014: *Lier – Duwijck II. De geschiedenis van een bedrijventerrein. Eindrapportage van de archeologische opgraving van een meerfasige occupatie van het gebied Duwijck II*, GATE Archaeology, Bredene.

CUYT G. 2007: *Schaven aan het verleden. Op verkenning in onze archeologie*, Antwerpen / Rotterdam.

DE BEENHOUWER J. 2005: *De Gallo-Romeinse terracottastatuetten van Belgische vindplaatsen in het ruimer kader van de Noordwest-Europese terracotta-industrie*, onuitgegeven proefschift KU Leuven, Leuven.

DE BOE G. 1977: *De Romeinse vicus op de Steenberg te Grobbendonk,* Archaeologia Belgica vol. 197, Brussel.

DE BOE G. 1985: 'Het ontstaan en de ontwikkeling van de Romeinse 'vicus' te Grobbendonk', *Acta Archaeologica Lovaniensia* vol. 24, p. 101-118.

DE BOE G. & LAUWERS F. 1980: 'Een inheemse nederzetting uit de Romeinse tijd te Oelegem', in *Archaeologia Belgica* vol. 228, Brussel, p. 5-38.

DEBRUYNE S., ANNAERT R., CLERBAUT T., HANECA K. & LENTACKER A. 2015: 'Daar bij *Groot Cueteghem*. Een rurale nederzetting uit de vroege en volle middeleeuwen te Hove', in *Relicta* vol. 14, p. 205-286.

DE CLERCQ H., JANSSENS E., SMETS S. & VERHAERT G. 2014: *Samenvattingenbundel studiedag: Omgaan met Diestiaan ijzerzandsteengebruik*, Diest.

DE LAET S.J. & VAN DORSELAER A. 1969: 'Lokale ijzerwinning in westelijk België in de Romeinse tijd', *Mededelingen van de Koninklijke Vlaamse Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België* vol. 31/4, Brussel, p. 3-28.

DELARUELLE S., ANNAERT R., VAN GILS M., VAN IMPE L. & VAN DONINCK J. (red.) 2013: *Vondsten Vertellen. Archeologische parels uit de Antwerpse Kempen,* Turnhout.

DELARUELLE S. 2016: 'Een blik over de grens: de archeologie in de Antwerpse Kempen', in: BALL E.A.G. & VAN HEERINGEN R.M. (red.), *Westelijk Noord-Brabant in het Malta-tijdperk. Synthetiserend onderzoek naar de bewoningsgeschiedenis van het westelijk deel van het Brabants zandgebied*, *NAR 5*1, Amersfoort.

DELARUELLE S. & VERBEECK C. 2004: 'De ijzertijdnederzettingen op het HSL-traject (800-circa 50 v.C.)', in: VERBEECK C., DELARUELLE S. & BUNGENEERS J. (red.), *Verloren voorwerpen. Archeologisch onderzoek op het HSL-traject in de provincie Antwerpen*, Antwerpen, p. 117-174.

DELARUELLE S., VERBEEK C. & DE CLERCQ W. 2004: 'Wonen en leven op het HSL-traject in de Romeinse tijd (circa 50 v.C.-476 n.C.)', in: VERBEECK C., DELARUELLE S. & BUNGENEERS J. (red.), *Verloren voorwerpen. Archeologisch onderzoek op het HSL-traject in de provincie Antwerpen*, Antwerpen, p. 189-256.

DENAYER J. 2016: 'Iron ores of Southern Belgium: much more than hematite', *Anthropologica et Praehistorica* vol. 126/2015, p. 39-49.

DENAYER J., PACYNA D. & BOULVAIN F. 2011: *Le minerai de fer en Wallonie: Cartographie, historique et géologie*, Namen.

DE RAYMAEKER A. & ENGELS L. (in voorbereiding): *Het archeologisch onderzoek aan de Roggestraat te Herentals*, Tienen.

DE SMAELE B., DELARUELLE S., THIJS C., HERTOGHS S., VERDEGEM S., SCHELTJENS S. & VAN DONINCK J. 2012: *Opgraving van een landelijke Romeinse nederzetting aan de Tijl en Nelestraat in Turnhout*, AdAK rapport 24, Turnhout.

DE SMAELE B. & PIETERS H. 2016: *Archeologisch vlakdekkend onderzoek langs de Krijgsbaan te Deurne/Borsbeek, rapportage van de onderzoeksresultaten van fase 1 van het vlakdekkend onderzoek,* ADEDE Archeologisch Rapport 55, Gent.

DIRIKEN P. 1992: *Peer* (Geogids 2), s.l.

DYSELINCK T. 2016: *Archeologische opgraving Geel, Kanunnikenblok*, BAAC Vlaanderen rapport 173, Gent.

ERVYNCK A. & VANDERHOEVEN A. 1998: Het artisanale gebruik van dierlijke grondstoffen in Romeins Tongeren en Tienen, in THOEN H., VERMEULEN F., DE BOE G. & LODEWIJCKS M. (RED.), *Romeinendag*, Brussel, p. 9-10.

FARNOUX CL. 1987: *Les fonds de cabane mérovingiens cisrhénans et leur contexte*, Amphora vol. 47, s.l.

GASSMANN G. & SCHÄFER A. 2014: 'Early iron production in Germany - a short review', in: Cech B. & Rehren,T. (red.), *Early Iron in Europe*, Monographies Instrumentum 50, p. 21–32.

GULLENTOPS F. & VANDENBERGHE N. 1995: *Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 17 Mol*, Leuven.

HEIRBAUT E.N.A. & NICASSIE M.J. 2017: *Bureauonderzoek plangebied Leopoldstraat te Grobbendonk. Archeologienota*, LAReS-Rapport 21, Halle-Zoersel.

HEIRBAUT E.N.A. 2018: *Proefsleuvenonderzoek aan de Roggestraat te Vosselaar. Deel I. Nota*, LAReS-rapport 104, Halle-Zoersel.

HEIRBAUT E.N.A. in voorbereiding: *Verdediging of toch een andere functie? De vroege middleeeuwen in Vosselaar*, LAReS rapport xxx, Zandhoven.

HERTOGHS S., BERVOETS G., SCHELTJENS S. & DELARUELLE S. 2013: 'Een grafmonument uit de vroege bronstijd en bewoning uit de ijzertijd op de Bentel in Oud-Turnhout (prov. Antwerpen, België)', *Lunula. Archaeologia Protohistorica* vol. 21, p. 11-21.

HUIJBERS T. 2004: 'De vele dimensies van natte gebieden in de Middeleeuwen. Zand-Brabant met de microregio Laarbeek-Helmond centraal', in: GERRITSEN F. & RENSINK E. (RED.), *Beeklandschappen in een archeologisch perspectief. Een kwestie van onderzoek en monumentenzorg*, Nederlandse Archeologische Rapporten vol. 28, Amersfoort, p. 103-119.

HUMPHRIS J., MARTINÓN-TORRES M., REHREN T., REID A. 2009: 'Variability in single smelting episodes - a pilot study using iron slag from Uganda', *Journal of Archaeological Science* vol. 36:2, p. 359-369.

JACOBS B., BOURGEOIS I. & BUNGENEERS J. (red.) 2009: *Boechout – Capenberg, Nederzettingssporen uit de ijzertijd, hoofdgebouw en afvalkuilen uit de volle middeleeuwen*. *Verslag van het archeologisch vooronderzoek en noodopgraving 17-24 maart 2009, op percelen Boechou*t, Antwerpen.

JACOBS P., LOUWYE S., POLFLIET T., ADAMS R. & VERMEIRE S. 2010: Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 15 Antwerpen, Brussel.

JACOBS P., POLFLIET T. & MOERKERKE G. 2010: *Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 1-7 Essen - Kapellen*, Brussel.

JANSSENS P. & VAN CROMBRUGGEN H. 1968: 'De Gallo-Romeinse sondage-vondsten te Grobbendonk (zonder de terra-sigillata)', *Hades* vol. 21, p. 3-40.

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

KOOT C.W. & BERKVENS R. 2004: *Bredase akkers eeuwenoud. 4000 jaar bewoningsgeschiedenis op de rand van zand en klei*, Rapportage Archeologische Monumentenzorg 102.

LALOO P., DECONYNCK J., VAN GOIDSENHOVEN W. & BEEK W. 2010: *Lier – Duwijck II, Rapportage van het archeologisch proefsleuvenonderzoek – 20 tot 29 september 2010*, Bredene.

LEENDERS K.A.H.W. 1996: *Van Turnhoutervoorde tot Strienemonde. Ontginnings- en nederzettingsgeschiedenis van het noordwesten van het Maas-Schelde-Demergebied (400- 1350)*, Zutphen.

MAGERMAN K. 2006: 'De vici. Een inventarisatie en functionele analyse van enkele zogenaamde vici in Vlaanderen tussen het begin van de 1ste eeuw n. Chr. en het einde van de 4de eeuw n. Chr.', *Terra Incognita 1. Annual Review of Archaeological Master Research in Flanders (Belgium)*, p. 139-153.

MARTENS M. 2012: *Life and culture in the Roman small town of Tienen. Transformations of cultural behaviour by comparative analysis of material culture assemblages*, Doctoraal Proefschrift, VU Amsterdam.

MARTENS M., DEBRUYNE T., VAN DEN VONDER I. & PAUWELS D. 2006: 'Een Gallo-Romeins gebouw met pyrotechnische ateliers en een fallus in de Spikdorenstraat in Tienen' in: BOSMAN A., DE CLERCQ W. & HOEVENBERG J. (RED.), *Romeinendag - Journée d'Archéologie Romaine 06 05 2006*, Gent, p. 37-39.
MARTENS M. & MAGERMAN K. 2022: '6.4.4 Vici', in: VANDERHOEVEN A., MARTENS M. & LENTACKER A.: *Onderzoeksbalans archeologie in Vlaanderen, Versie 1, 11/12/2008: Romeinse tijd*, Brussel, p. 51-56.

MARTINÓN-TORRES M. & REHREN T. 2014: 'Technical Ceramics', in: ROBERTS B.W. & THORNTON C.P. (red.), *Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses*, New York, Dordrecht en Londen, p. 107-131.

MARYNISSEN C. 1983: 'Inventaris van de archeologische verzameling van het Museum Taxandria te Turnhout', *Taxandria* vol. 53, p. 5-56.

MERTENS J. 1961: 'Gallo-romeins Graf uit Grobbendonk', *Archaeologica Belgica* vol. 53, Brussel, p. 5-17.

MERVIS D. & DEVILLE T. 2014: *Eikevelden te Geel, rapportage vlakdekkende opgraving*, Condor Rapporten 56, Bilzen.

MESTDAGH B., ALLUWÉ K., VAN BREMPT L. 2023: 'Een rijkgevuld verleden. Een bijzondere waterkuil uit de late ijzertijd te Borsbeek R11 (Provincie Antwerpen)', Lunula XXXI, p. 133-142.

MESTDAGH B. & B. BARTHOLOMIEUX 2022, *Archeologische opgraving Basisrapport, Borsbeek R11 'Spoor 374' (prov. Antwerpen),* Monument Vandekerckhove, Ingelmunster.

PIRSON S., SPAGNA P., BAELE J.-M. & DAMBLON F. 2008: 'An overview of the Geology of Belgium', in: *Memoirs of the geological survey of Belgium n. 55*, Wenen, p. 4-25.

PLEINER R. 2000: *Iron in archaeology: the European bloomery smelters*, Praag.

REHREN TH. & PERNICKA E. 2008: 'Coins, Artefacts and isotopes – Archaeometallurgy and archaeometry'*, Archaeometry* vol. 50:2, p. 232-248.

RENES J. 1999: *Landschappen van Maas en Peel. Een toegepast historisch-geografisch onderzoek in het streekplangebied Noord- en Midden-Limburg*, Leeuwarden/Maastricht.

REYNS N., BRUGGEMAN J. & DIERCKX L. 2014: *Archeologische opgraving Grobbendonk – Vorselaarsebaan zn. "Uitbreiding begraafplaats, 'Kerkenput'"*, rapport All-Archeo bvba 139, Bornem.

REYNS N. & BRUGGEMAN J. 2015: *Bureaustudie. Archeologisch booronderzoek zonder ingreep in de bodem. Grobbendonk – Nijverheidsstraat – Vorselaarse baan (McCain Foods Belgium)*, rapporten All-Archeo bvba 287, Temse.

REYNS N. & BRUGGEMAN J. 2017: *Eindverslag Grobbendonk – Nijverheidsstraat,* rapporten All-Archeo bvba 463, Temse.

REYNS N. 2019: A*rcheologienota Grobbendonk – Vorselaarse baan. Uitbreiding begraafplaats,* rapporten All-Archeo bvba 913, Bornem.

SCHELTJENS S., BERVOETS G. & DELARUELLE S. 2012: *Bewoning uit de late ijzertijd en de Romeinse periode aan de Oostmalseweg in Beerse*, AdAK rapport 46,Turnhout.

SCHELTJENS S., BERVOUTS G. & DELARUELLE S. 2014: *Grafmonumenten uit de vroege Romeinse periode en rurale bewoning uit de vroege en volle middeleeuwen op de Bentel in Oud-Turnhout*, AdAK rapport 44, Turnhout.

SCHILTZ M., VANDENBERGHE N. & GULLENTOPS F. 1993: *Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 24 Aarschot*, Leuven.

SCHUERMAN E. 1995: 'De Gallo-Romeinse ijzerindustrie: proces, archeologisch materiaal, ruimtelijke spreiding', *Acta Archaeologica Lovaniensia. Monographiae 8*, 183-191.

SCOTT R.B., EEKELEERS K. & DEGRYSE P. 2016: 'Quantitative chemical analysis of archaeological slag material using handheld x-ray fluorescence spectrometry', Applied Spectroscopy vol. 70:1, p. 94-109.

SERNEELS V. & PERRET S. 2003: 'Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains', in: *Archaeometallurgy in Europe. Proceedings of the International Conference (Milano, 24-26 Settembre 2003)*, Milaan, p. 469-478.

SCHILTZ M., VANDENBERGHE N. & GULLENTOPS F. 1993: *Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 16 Lier*, Leuven.

SCHILTZ M., VANDENBERGHE N. & GULLENTOPS F. 1993: *Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Kaartblad 24 Aarschot*, Leuven.

STANTON M., YAGER D., FEY D. & WRIGHT W. 2007: 'Formation and Geochemical Significance of Iron Bog Deposits', in: CHURCH S.E., VON GUERARD P. & FINGER S.E. (RED.), *Integrated Investigations of Environmental Effects of Historical Mining in the Animas River Watershed, San Juan County, Colorado*, s.l., p. 689-720.

STROOBANTS A. 1978: *Het ijzerwerk toegepast in de bouwkunst te Gent, Brugge en Antwerpen, vanaf het begin van de 13e tot het begin van de 19e eeuw. Een vergelijkende studie*, onuitgegeven proefschrift Rijksuniversiteit Gent, Gent.

TICHELMAN G. s.d.: R*omeinse tijd in Limburg. Een actuele kennisstand van de Romeinse tijd in Lumburg aan de hand van archeologisch onderzoek tussen 2007 en 2013*, s.l.

TYLECOTE R.F. 1980: 'Furnaces, Crucibles, and Slags', in: WERTIME T.A., MUHLY J.D. (red.), *The Coming of the Age of Iron*, New Haven, p. 183-228.

TYLECOTE R.F. 1987: *The early history of metallurgy in Europe*, New York.

VANDENBERGHE N., VAN SIMAEYS S., STEURBAUT E., JAGT J.W.M. & FELDER P.J. 2004: 'Stratigraphic architecture of the Upper Cretaceous and Cenozoic along the southern border of the North Sea Basin in Belgium', in: KOMBRINK H. (red.), *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw 83* p. 155-171.

VANDERHOEVEN A., MARTENS M. & LENTACKER A. 2022: *Onderzoeksbalans archeologie in Vlaanderen, Versie 1, 11/12/2008: Romeinse tijd*, Brussel.

VAN DER VEEKEN B. & WEEKERS-HENDRIKX B.A.T.M. (red.) 2020: *Middeleeuwse bewoning aan de Chaamseweg te Baarle-Hertog/Baarle-Nassau. Een grensoverschrijdend project*, VEC Rapport 57, Geel.

VAN DE VELDE E., DEVILLE T. & HOUBRECHTS S. 2013: *Lammerdries te Olen (gem. Olen)*, archeologische opgraving, Condor Rapporten 35, Bilzen.

VAN DUIJVENVOORDE R.M. 2006: 'Vroeghistorische ijzerproductie in Nederland', *GEA* vol. 39/3, p. 86-93.

VAN ENCKEVORT H., HENDRIKS J. & NICASIE M. 2017: *Nieuw licht op donkere eeuwen. De overgang van de laat-Romeinse tijd naar de vroege middeleeuwen in Zuid-Nederland*, Nederlandse Archeologische Rapporten 058, Nijmegen.

VAN ENK R. 2016: 'Iedere generatie zijn eigen oerbank? Gebruik en gedrag van ijzer in de Nederlandse ondergrond', *Grondboor & Hamer* vol. 70/2, p. 48-54.

VAN HEESCH J. 1991: 'Muntgietvormpjes', in: SEVENANTS W. (red.), *Rumst: in het spoor van haar verleden. Eerste resultaten van 3 jaar archeologisch bodemonderzoek te Rumst-Molenveld, Tentoonstellingscatalogus*, Rumst, p. 78-81.

VANHOUTTE S., 2009: Brooch production at the Roman fort of Oudenburg (Belgium) in the later 3rd century AD, in: VAN ENCKEVORT H. (ed.), *Roman Material Culture. Studies in honour of Jan Thijssen*, Zwolle, p. 41-52.

VANHOUTTE S., GUILLAUME V. & SAS K. 2022: '6.4.14 Metaal', in: VANDERHOEVEN A., MARTENS M. & LENTACKER A. (RED.), *Onderzoeksrapport. Onderzoeksbalans archeologie in Vlaanderen. Versie 1, 11/12/2008: Romeinse tijd*, p.135-140.

VAN IMPE L. & BEEX G. 1977: *Grafheuvels uit de Vroege en Midden Bronstijd te Weelde*, Archaeologia Belgica vol. 193, Brussel.

VAN IMPE, L., DELARUELLE S., HERTOGHS S., SCHELTJENS S. & BERVOETS G. 2011: 'Een bronsdepot uit de vroege ijzertijd aan de Beekakkers in Beerse (prov. Antwerpen, België)', *Lunula. Archaeologia Protohistorica* vol. 19, p. 61-68.

VERBEECK H. 1990: 'Een belangrijke ijzerertswinning uit de ijzertijd en de Gallo-Romeinse periode op de Alfsberg IJzermaal-Pronkenborg', *AVRA-Werking 1990*, p. 49-52.

VERBEECK H. 2010: 'Het oostelijke Gallo-Romeinse grafveld te Grobbendonk (prov. Antwerpen)', in: *Relicta* vol. 6, p. 9-40.

WINDEY S. 2013: *Middeleeuwse Metallurgie. Archeometallurgische studie van metaalslakken uit drie Oost-Vlaamse site*, onuitgegeven masterproef UGent, Gent.

YPERMAN W. 2008: *Archeologisch onderzoek op de geplande verkaveling te Nijlen – Mussenpad (provincie Antwerpen). Definitief rapport*, AS-Rapportage 2008-23, Geel.

YPERMAN W. & SMEETS M. 2013: *Archeo-rapport 154. Het archeologisch vooronderzoek aan de Fortloop te Mortsel*, Kessel-Lo.

ZIMMERMAN W.H. 1982: 'Archäologische Befunde frühmittelalterlicher Webhäuser. Ein Beitrag zum Gewichtswebstuhl', in: *Jahrbuch der Männer vom Morgenstern* vol. 61, p. 111-144.

11. Summary

The present research combines the assembly on data on all known sites with remains linked to metallurgy in the Antwerp Campine region and the results of the macro – and microscopic study of these remains. Based on the quantity, quality and age of the sites five casestudies were choosen for deeper analysis. The sites are Borsbeek-Krijgsbaan (Iron Age), Grobbendonk-Vorselaarsebaan (Roman period), Oelegem-Steenbergen (Roman period), Nijlen-Mussepad (early medieval period) and Herentals-Roggestraat (early medieval period). Based on this research the authors could prove secondary (metal-)production during the Iron Age and both primary and secondary production during the Roman and early medieval period. The technological process was proven to evolve, with the usage of different techniques during different periods. The authors make suggestions on the research of metallurgic remains and on how to standardize this research, so comparison will become easier. It became clear for the authors that further research on this topic is necessary. This should include more archaeological sites from all provinces of Flanders (not only the Antwerp Campine region) and a larger dataset for all periods.