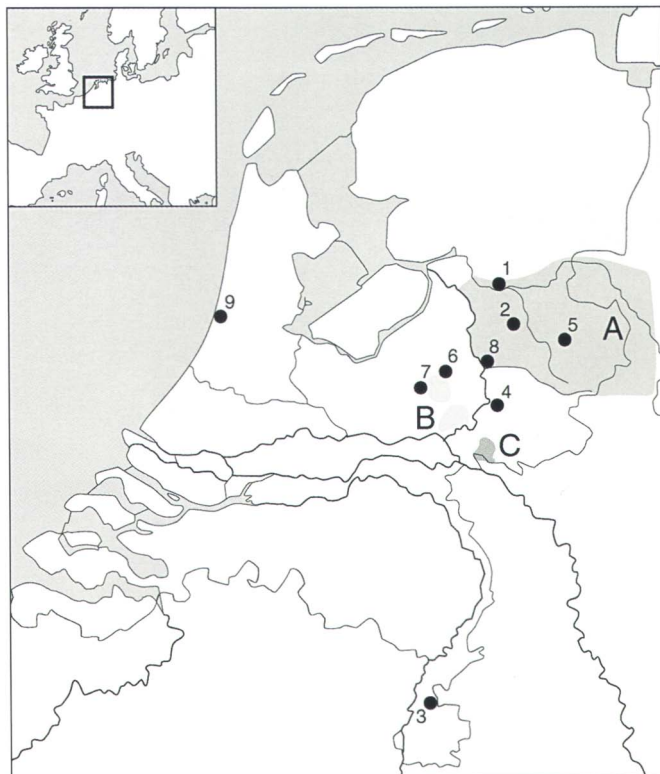


Vroeghistorische ijzerproductie in Nederland

door Ronald van Duijvenvoorde
r.m.vanduijvenvoorde@student.tudelft.nl

Op het najaarssymposium (2005) van de NKAM¹ (Nederlandse Kring Aardse Materialen) hield dr. Ineke Joosten een lezing over de mineralogie van slakken, de restproducten die overblijven bij de productie en bewerking van bijvoorbeeld ijzer. Het was een interessante voordracht over de technologie van de vroeghistorische ijzerproductie. Dr. Joosten is werkzaam bij het ICN² (Instituut Collectie Nederland), het kennisinstituut voor beheer en behoud van roerend cultureel erfgoed. Zij is in 2004 op dit onderwerp gepromoveerd aan de Vrije Universiteit van Amsterdam.

Dit artikel valt globaal uiteen in twee delen: de technologie van de ijzerproductie en de specifieke aspecten van de vroeghistorische ijzerproductie in drie belangrijke productiecentra, achtereenvolgens het Overijsselse Vechtgebied, de Veluwe en Montferland. Voor een overzicht van deze drie gebieden wordt verwezen naar afb. 1. In de Romeinse periode vond in ons land de productie van ijzer plaats in het Vechtgebied. Hier zijn sporen gevonden van nederzettingen inclusief sporen van ijzerproductie: kuilovens waarin ijzer werd geproduceerd uit moerasijzererts, daterend uit de eerste tot de vierde eeuw AD. De productie van ijzer op de Veluwe en in Montferland vond plaats in de Vroege Middeleeuwen: respectievelijk van de zevende tot de negende eeuw AD en van de negende tot de elfde eeuw AD. Op de Veluwe en in Montferland werd gebruik gemaakt van zoge-



Afb. 1. Overzichtkaart van Nederland en de drie besproken ijzerproductie gebieden. A: Vechtgebied; B: Veluwe; C: Montferland. De cijfers 1-9 verwijzen naar plaatsen die belangrijk waren in verband met het productieproces en verdere be- of verwerking. 1: Ooster Dalfsen; 2: Heeten; 3: Haag Sittard; 4: Vierakker; 5: Barvoorde; 6: Orderbos; 7: Braamberg; 8: Deventer; 9: CORUS, IJmuiden. Bron: [2]

naamde aftapovens met klapperstenen als erts. De drie productiegebieden verschillen dus in ouderdom, gebruikt erts en soort oven [1, 2].

IJzererts

Klapperstenen

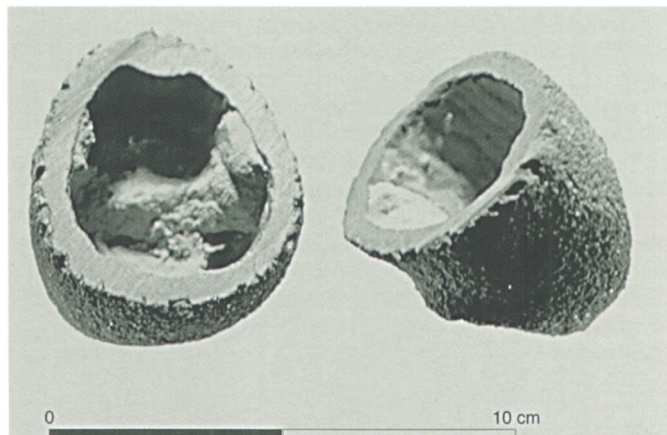
Klapperstenen zijn ronde of eivormige, bruingele ijzerconcreties met een doorsnede variërend van 1 tot 15 cm. De stenen bestaan uit een gladde of ruwe mantel van verschillende laagjes met een hoog ijzergehalte (limoniet, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ of goethiet, FeOOH) om een kern met een minder hoog ijzergehalte (klei, zandsteen of sideriet, FeCO_3). Vaak is de kern losgeraakt van de buitenkant, waardoor er bij het schudden van de steen een ratelend (klapperend) geluid ontstaat (zie afb. 2 en 3 voor illustraties van klapperstenen).



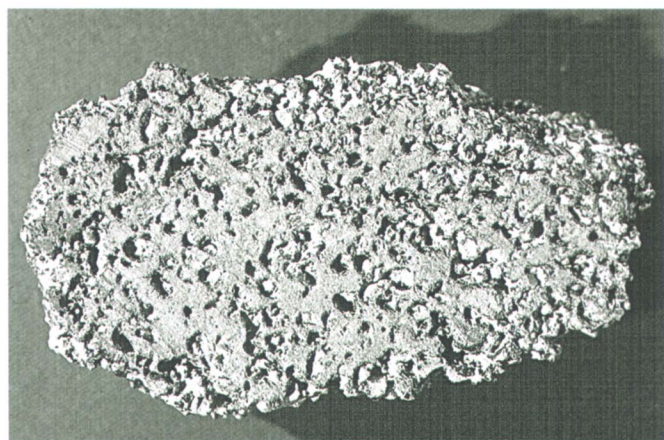
Afb. 2. Klapperstenen uit de collectie van het universiteitsmuseum van de universiteit Utrecht. Bron: [2]

Klapperstenen bevatten veel ijzer en werden in de Middeleeuwen veel gebruikt als erts voor de productie van ijzer. Ze kwamen veel voor op de Veluwe en in Montferland als ertsbanden in de bovenste lagen van de stuwwallen die gevormd zijn tijdens de voorlaatste ijstijd, het Riss-glaciaal (circa 200.000 – 125.000 jaar geleden). Klapperstenen kunnen dus gevonden worden in gebieden die met landijs bedekt zijn geweest, zoals bijvoorbeeld de uitlopers van de Overijsselse heuvelrug ten zuiden van Markelo. Maar ook worden klapperstenen veel gevonden in rivierafzettingen, bijvoorbeeld bij Oosterbeek.

Voor de vorming van klapperstenen bestaan verschillende theorieën. De eerste theorie die ik kort bespreek (oxidatie



Afb. 3. Klappersteen, gefotografeerd door M. Ydo. Bron: [2]



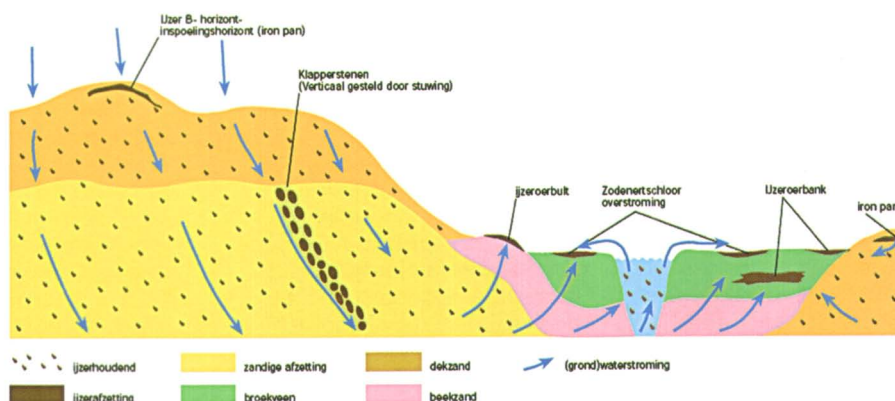
Afb. 4. Een brok moerasijzererts uit Ooyerhoek, Achterhoek. Bron: [2]

van siderietknollen) is het meest plausibel, vooral omdat er soms nog sideriet in de kern aanwezig is. Van der Weerd [4] vond na literatuuronderzoek twee theorieën met betrekking tot de vorming van klapperstenen:

1. Faber [5] geeft als oorsprong het Onder-Krijt van oostelijk Overijssel, waar, in klei- en zandsteen, sideriet is neergeslagen in de vorm van ronde concreties tot 60 cm dik. Volgens van der Lijn [6a] kwamen deze siderietconcreties vervolgens vrij door verwerking van het omringende gesteente en zijn ze daarna meegevoerd en door het landijs opgestuwd. Een deel van de sideriet zou ook door het landijs kunnen zijn meegevoerd vanuit noordelijke gebieden. De siderietconcreties zijn omgezet naar limoniet / goethiet, maar wanneer deze (gedeeltelijke) omvorming heeft plaatsgevonden is nog niet geheel duidelijk. Joosten voegt hieraan nog toe dat Van der Burg [6b, 6c] ook denkt dat klapperstenen zijn ontstaan door het verwerken van siderietnodules.

2. Van Loef [7] gaat er echter vanuit dat klapperstenen ter plaatse worden gevormd door neerslag van ijzer rond een kleiige, zandsteenachtige kern, waarbij grondwater zorgt voor de aanvoer van het ijzer. Door uitdroging krimpt de kern en laat deze los van de mantel.

Afb. 5. Overzicht van ijzerafzettingen in Nederland. Voor dit artikel zijn van belang de klapperstenen en het moerasijzererts (ijzeroer). Bron: [3]



Moerasijzererts [3]

Moerasijzererts (20 – 50% ijzer) ontstaat meestal in veenachtige gebieden en kan worden opgespoord met behulp van bijvoorbeeld een prikstok (zie afb. 4). De ijzerbanken vormen zich na winning opnieuw en kunnen tot een halve meter dik worden. In Nederland komt moerasijzererts met name voor in Drentse en Groningse veengebieden en in de dekzandgebieden van Overijssel, Gelderland en Brabant. Als ijzerhoudend grondwater zich van hoger gelegen dekzandplateaus naar lager gelegen vlaktes verplaatst, dan kan zich daar moerasijzererts vormen. In plateaus met humusrijke bodems lossen ijzerverbindingen, door het zure milieu, op uit de humus en de dieper gelegen lagen en komen met het doorsijpelende regenwater in het grondwater terecht. Dat stroomt naar lager gelegen gebieden. Als het water uittreedt aan de oppervlakte, dan oxideren de opgeloste ijzerverbindingen (door de zuurstof in de atmosfeer) en slaan neer in de vorm van moerasijzerertsbanken of moerasijzerertsbulten (ijzeroerbank en ijzeroerbult in afb. 5).

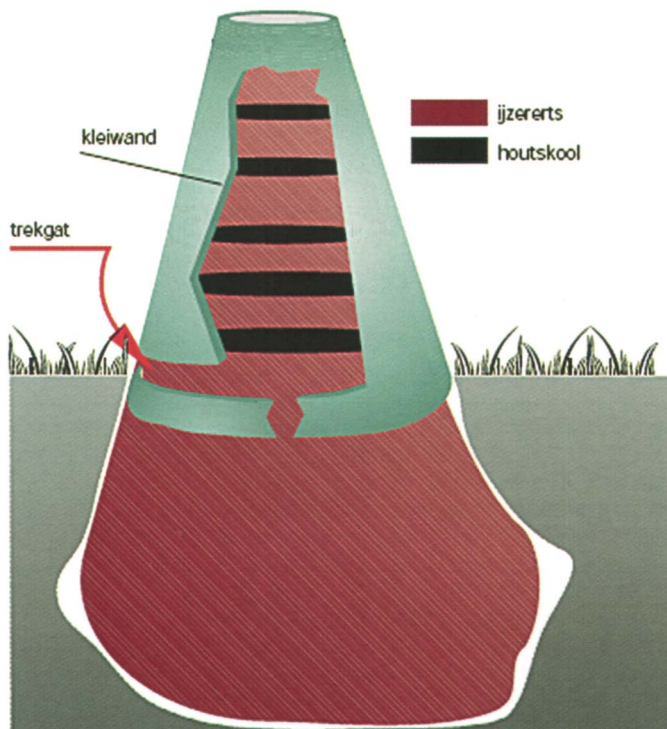
Moerasijzerertsbanken kunnen ook gevormd worden als ijzerhoudend rivier- of beekwater buiten de oevers treedt en aldaar banken vormt. Bij voldoende horizontale grondwaterdoorstroming, meestal in zandbodems, maar ook in meer kleiige bodems, zal het ijzer in de bodem oxideren op het grensvlak van water en lucht en zullen zich gelaagde brokken en horizonten vormen. IJzerbacteriën kunnen de accumulatie van ijzer bevorderen.

Productieproces³

De ijzerproductie in de vroege historie werd gekenmerkt doordat het ijzer niet gesmolten, maar in vaste toestand uit het erts werd gewonnen in houtskooloventjes. De ijzeroxide uit het erts werd door de houtskool gereduceerd tot metallisch ijzer. De houtskool zorgde dus, naast de benodigde hoge temperatuur in de oven, ook voor een voldoende reducerend milieu. De wolf, het ruw gevormde ijzer, bleef in vaste toestand achter. De temperatuur in de oven werd niet hoog genoeg om het ijzer te smelten. De slak, het restmateriaal, smolt wel tijdens het productieproces en stroomde de oven uit, zodat ijzer en slak gescheiden werden. Alvorens de karakteristieken van de ijzerproductie en de archeologische overblijfselen in de reeds genoemde drie belangrijke Nederlandse productiegebieden te behandelen, is het van belang een overzicht te geven van het proces van de ijzerproductie. Achtereenvolgens behandel ik het reductieproces, de twee typen ovens die in Nederland zijn gebruikt – de kuiloven en de aftapoven – en tenslotte de twee eindproducten: het ijzer en de slak.

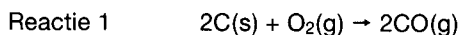
Het reductieproces

IJzererts is het basismateriaal waaruit ijzer geproduceerd



Afb. 6. Schematisch overzicht van een gedeeltelijk ingegraven houtskool-oventje. Meer specifieke afbeeldingen van de twee verschillende type ovens volgen verderop in het artikel. Bron: [3]

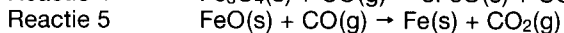
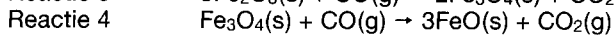
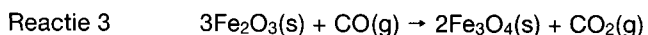
wordt. Het erts bestaat meestal uit ijzer(hydr)oxides en restmineralen zoals silicaten, calcium-, mangaan- en fosforhoudende componenten. Om ijzer te produceren moet alle zuurstof verwijderd worden uit het ijzererts en moet het metallische ijzer gescheiden worden van de restmineralen: dit is het reductieproces. Dit proces vindt plaats in een met houtskool gestookt oventje (zie afb. 6), waarin de houtskool onvolledig verbrandt. Hierbij ontstaat koolmonoxide, een sterke reductor, die ervoor zorgt dat bij hoge temperaturen het ijzeroxide gereduceerd wordt.



Het water in het ijzererts verdwijnt bij temperaturen onder de 300°C, relatief vroeg in het reductieproces (reactie 2). Ook gebeurde het wel dat het erts eerst geroosterd werd voordat het in de oven werd geplaatst, zodat, naast het water, ook eventueel aanwezig organisch materiaal en zwavel werd verwijderd.

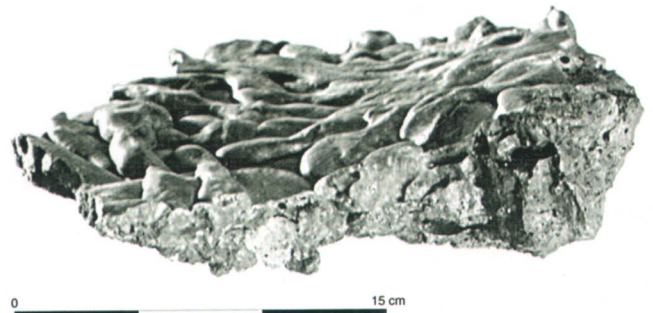


Gedurende het proces reageert koolstofmonoxide met het ijzeroxide tot hematiet, Fe_2O_3 . Dat reduceert tot magnetiet, Fe_3O_4 , en dat reduceert tot wüstiet, FeO (de reacties 3 en 4). Uiteindelijk reduceert wüstiet tot metallisch ijzer (reactie 5).



Reacties 4 en 5 vinden plaats bij temperaturen boven de 720°C, in verschillende delen van de oven, afhankelijk van de temperatuurverdeling. Het erts en de houtskool werden waarschijnlijk laagsgewijs in de hete oven gedaan. De houtskool verbrandde en het erts zakte door de schacht naar beneden. In het heetste deel van de oven klonterden de ijzerdeeltjes samen tot brokken ijzer, de zogenaamde wolf, waarin nog (ongewenste) houtskool en slak aanwezig waren.

Het metallische ijzer en de ongewenste restmineralen werden van elkaar gescheiden bij een temperatuur van ongeveer 1176°C. Bij die temperatuur wordt de slak vloeibaar, terwijl het metallische ijzer (smeltpunt 1539°C) nog in vaste toestand blijft. Bij deze temperatuur reageert wüstiet met silicium en vormt een slak van fayaliet ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$, een soort olivijn), overige restmineralen en as. Als de slak stolt, bestaat hij uit een mengsel van fayaliet, wüstiet en glas; de hoeveelheid van de eerste twee componenten is afhankelijk van de verhouding tussen ijzeroxide en siliciumdioxide, en de hoeveelheid glas van de overige oxides die oorspronkelijk aanwezig waren. Een voorbeeld van een slak wordt gegeven in afb. 7.



Afb. 7. Vloeislak van de slakkenhoop in het Orderbos. De specifieke vloeistruktuur van de slak doet vermoeden dat een aftapoven is gebruikt. Foto genomen door M. van Nie. Bron: [2]

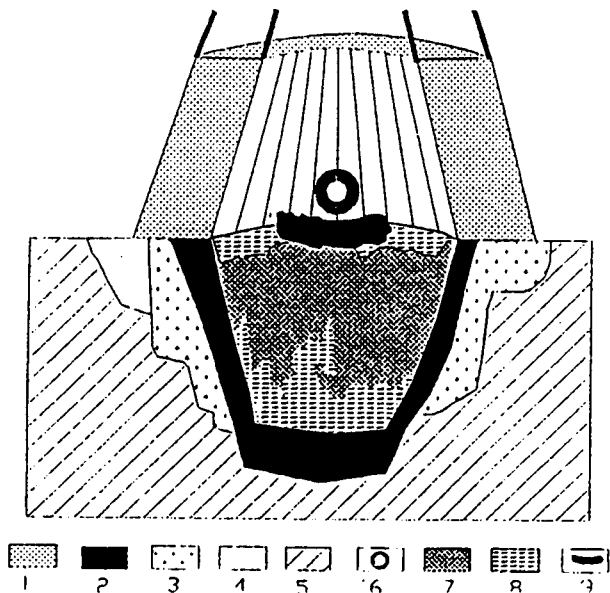
Ovens

Het is moeilijk om een reconstructie te maken van de ovens die gebruikt zijn voor de productie van ijzer, omdat de ovens zo slecht bewaard zijn gebleven. Meestal is alleen het onderste deel, dat verslakt en verglaasd is, bewaard gebleven. De bovenste delen van de ovens zijn ingestort of meegenomen door de makers. Er zijn verschillende classificaties voor ovens; Joosten volgt de indeling zoals voorgesteld door Pleiner voor kuilovens en bovengrondse ovens. In Nederland waren twee types ovens in gebruik: de kuiloven en de aftapoven (beide bovengrondse installaties). Bij een kuiloven vloeit de slak in een kuil onderin de oven en vormt daar de zogenaamde kuilovenslak; bij een aftapoven wordt de slak uit de zijkant van de oven afgetapt. De morfologie van de productieslak is karakteristiek voor het type oven dat is gebruikt.

De ovens waren meestal gemaakt van lokaal gevonden klei gemagerd met zand. Dit was nodig, omdat de ovens sterk moesten zijn en thermische en mechanische stress moesten kunnen weerstaan. Echter, naar moderne maatstaven waren deze oventjes niet zo sterk en moesten waarschijnlijk na elke smelt gerepareerd worden. Er is niet zoveel bekend over het gebruik van natuurlijke trek in de ovens tijdens het productieproces, maar waarschijnlijk werd er gebruik gemaakt van blaasbalgen van hout en dierenhuiden, die, uiteraard, nauwelijks bewaard zijn gebleven.

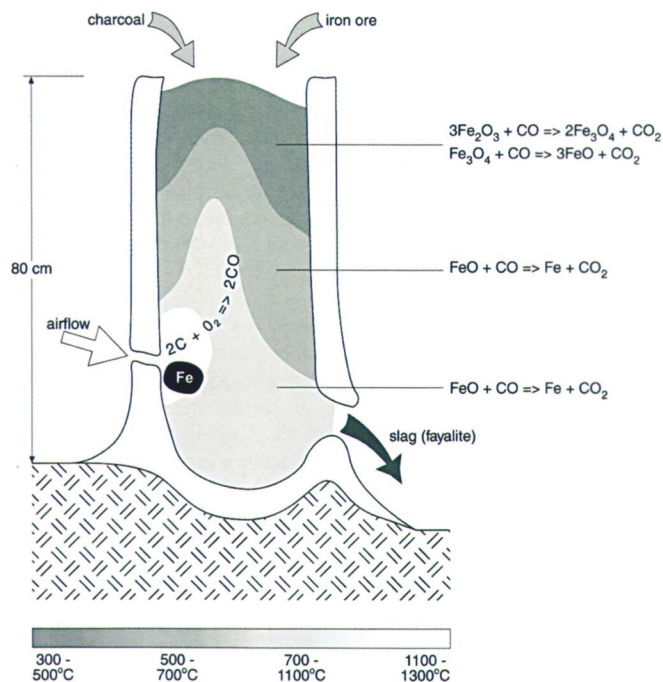
De kuiloven

De kuiloven was een half begraven oven die bestond uit een put onderin de ovenschacht (die bovengronds was), waarin de slak kon uitvloeien. Deze oven was in gebruik van de Midden-IJertijd tot de Vroege Middeleeuwen door heel Europa, maar wel alleen buiten het Romeinse Rijk. Voor een gereconstrueerd voorbeeld zie afb. 8. De zijden van de schacht konden recht naar beneden gaan of taps toelopen. Deze twee typen kuilovens zijn gevonden door heel Europa. De kuil is waarschijnlijk bekleed geweest met klei, om



Afb. 8. Reconstructie van een kuiloven, gevonden in Heeten (Van Nie 1995, 10b). 1: ovenwand; 2: bekliding van klei; 3: verstoorde ondergrond; 4: roodverbrand zand; 5: natuurlijke ondergrond; 6: tuyère; 7: slakken; 8: houtskool; 9: wolf. Bron: [2]

instorting en nat worden te voorkomen. Voordat de erts en het houtskool in de put werden gedaan, werd deze gevuld met o.a. hout zodat de lading niet meteen recht in de put viel. Dit hout verbrandde tijdens het proces door de vloeibare slak die de put vulde. Na een smelt werd een nieuwe kuil gegraven. De oude schacht werd mogelijk gerecycled en op de nieuwe kuil gezet of er werd ook een nieuwe schacht gemaakt.



Afb. 9. Schematische weergave van een aftapoven. Erts en houtskool worden van bovenaf in verschillende lagen de oven in gedaan of gemixt. Het erts zakt langzaam naar beneden en passeert daarbij de verschillende reducerende zones, waarbij uiteindelijk metallisch ijzererts overblijft. De wolf vormt zich juist onder de luchtinlaat (air inlet) en de vloeibare slak wordt afgetapt van de oven rechts onderin. Bron: [2]

Aftapoven

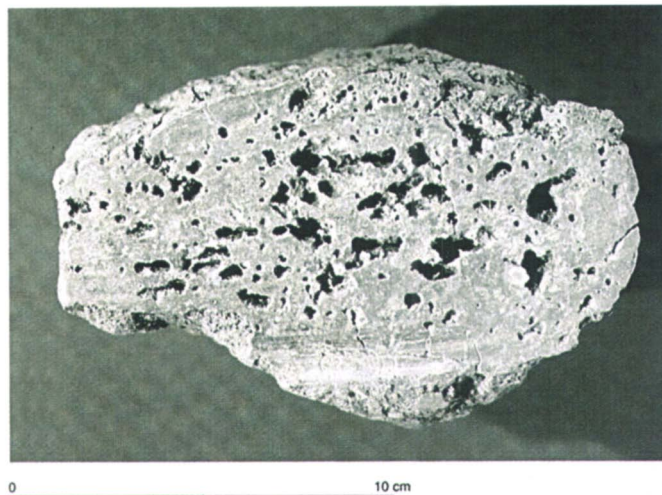
De aftapoven onderscheidde zich door een rechte of licht concave haard met de uitgang voor de vloeibare slak enkele centimeters boven de haard. Dit is schematisch weergegeven in afb. 9. Dit type oven was in gebruik in Europa van de Late IJzertijd tot de Late Middeleeuwen. De slak kon continu of in stappen worden afgetapt gedurende het productieproces.

Wolf en slakken

De producten die tijdens het smeltproces ontstaan zijn de wolf en de slak. Meestal worden alleen de slakken op de productieplaats teruggevonden, omdat het een afvalproduct was. De morfologie en chemische samenstelling van de slak geeft informatie over het productieproces: welk soort ijzererts, welke soort oven en de opbrengst. De slak is archeologisch gezien van grote betekenis.

Wolf

Na het reductieproces blijft de wolf vastzitten aan de ovenwand, net onder de tuyère (het trekgat of de luchtinlaat). De sponsachtige wolf bevat dan nog altijd bepaalde hoeveelheden houtskool en slak en moest daardoor nogmaals verhittend en behamerd worden om het afval eruit te halen en de gaatjes binnenin dicht te maken. Een voorbeeld van een wolf staat in afb. 10. De producteigenschappen verbeterden naarmate er meer slak werd verwijderd tijdens het bewerken van de wolf. Hoewel veel van de slak verwijderd werd tijdens dit proces, bleef er altijd wel iets achter. Dit vormde meestal geen probleem; het maakte het ijzer zelfs makkelijker te smeden. Tijdens het smeden werden stukken ijzer samengevoegd bij een temperatuur van ongeveer 1100°C, waarbij ijzer witheet wordt.



Afb. 10. Wolf afkomstig van Braamberg, Hoog Buurlo. Foto genomen door M. van Nie. Bron: [2]

Slakken

De soort slak, het restproduct van smeltprocessen en bewerkingsprocessen (het herverhitten en smeden), is indicatief voor de verschillende stadia van verwerking van ijzer. Via verschillende analysemethoden is het mogelijk verschillende soorten slakken te onderscheiden, inzicht te krijgen in de verschillende technische aspecten van de ijzerproductie en de herkomst van het gebruikte erts te achterhalen. Er worden dan ook twee soorten slak onderscheiden: de productieslak en de bewerkingslak. Deze laatste ontstaat tij-

dens het verhitten en bewerken van de wolf en valt buiten het kader van dit artikel⁴.

Productieslak

Vroeghistorische ijzerproductielocaties zijn te herkennen aan de aanwezigheid van slakken, ovenbekleding, ertsresten, houtskool en ijzer. Slak is meestal in de grootste hoeveelheden aanwezig. Het type oven, de behandeling van de slak tijdens het smeltproces, de temperatuur, het reducerende milieu en de chemische samenstelling van het erts bepalen de morfologie van de slak. De productieslak kan worden onderverdeeld in vier groepen: ovenbodem, kuilovenslak, vloeislak en sintel⁵.

Ovenbodems worden gevormd onder de wolf onderin de haard en bevatten vaak wat ijzer. Deze slakken worden vaak *in situ* gevonden; hun diameter is een indicatie van de breedte van de haard als de slak tenminste compleet wordt gevonden. Een slak heeft een bepaalde vorm, afhankelijk van het gebruikte type oven.

Kuilovenslakken zijn gestold in een kuil onderin de oven en vertonen meestal verticale stroomstructuren en afdrucken van de vulling van de oven zoals hout of stro. Kuilovenslakken worden meestal *in situ* gevonden, maar soms ook gebroken en verspreid over de ijzerproductiesite.

De **vloeislak** is uit de oven gevloeid via een aftapgat aan de zijkant en is in de buitenlucht afgekoeld. Het oppervlak van de vloeislak is gerimpeld, zoals te zien is op afb. 7 en bevat weinig resten van houtskool en ovenvulling.

Sintels ontstaan door een onvolledige reactie tussen erts en houtskool. Het zijn conglomeraten van klompjes ijzer, gedeeltelijk gereduceerd erts en houtskool, samengekit door slak: ze hebben geen specifieke vorm.

Productieslakken bestaan typisch uit fayaliet, wüstiet en glas; meestal is de textuur van de slak redelijk homogeen. Wüstiet is meestal aanwezig in de vorm van dendrieten, zoals weergegeven in afb. 11. De chemische samenstelling van de slakken wordt bepaald door het gebruikte erts en de efficiency van het productieproces, maar ook door de toevoeging van speciale fluxen ter bevordering van het proces, verontreiniging met as en ovenbekleding. De mineralogie van ijzerlakken kan het beste bestudeerd worden met behulp van metallurgische microscopie, zoals beschreven door Joosten [2].



Afb. 11. Een slijpplaatje van een slak afkomstig uit de Veluwe. Het wüstiet is te herkennen aan de kleine bolletjes en dendrieten in een matrix van glas en olivijn. De fayalietkristallen zijn donker gekleurd. Bron: Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen van der Vrije Universiteit Amsterdam (<http://www.falw.vu.nl>).

De geschiedenis van ijzerproductie

De vroegst bekende ijzeren objecten, die dateren van voor 3000 BC, zijn gemaakt van meteoritisch ijzer. Het ijzerproductieproces heeft zijn oorsprong in het Midden-Oosten. De vroegste ijzerproductie in Europa vond plaats in ondiepe ovens uitgerust met een (lage) schacht. In de late IJzertijd worden andere oventypen geïntroduceerd: de koepeloven en de kuiloven. De aftapoven wordt in de laat-Romeinse periode ontwikkeld en deze vergroot het rendement en de capaciteit van het productieproces. In de 12e eeuw AD wordt een nieuw type oven ontwikkeld: de hoogoven, waarin vloeibaar ijzer kan worden geproduceerd, maar dit valt buiten het kader van het artikel dat zich beperkt tot de periode van de Romeinse tijd tot de 11^{de} eeuw.

In Nederland zijn sinds de Midden-IJzertijd, vanaf 500 BC, veel ijzeren objecten bekend, maar harde bewijzen voor ijzerproductie zelf stammen uit de Romeinse tijd. Nederland kenmerkte zich van de Romeinse periode tot de Vroege Middeleeuwen door een extensieve ijzerproductie, met gebruik van plaatselijk gewonnen erts. De amateur-archeoloog Moerman⁷ heeft sinds 1928 als een van de eersten onderzoek gedaan naar de Vroeg-Middeleeuwse ijzerproductie op de Veluwe. Zijn werk is van groot belang omdat veel sites verloren zijn gegaan. Na Moermans dood kwam eigenlijk pas de erkenning van de 'echte' Nederlandse archeologen voor zijn werk en zijn ideeën omtrent de ijzerproductie en diens impact op de economie van de Veluwe⁶. Een echt nieuwe impuls voor verdere gedetailleerde studies kwam nadat Heidinga en Van Nie (IPP, Amsterdam) in 1988 onderzoek deden naar de ijzerproductie op de Veluwe [8a]. Toen is ook het onderzoek gestart naar de technologie van de ijzerproductie en de socio-economische aspecten van deze industrie in Nederland.

De Romeinse periode: het Vechtgebied

Zuid-Nederland maakte deel uit van het Romeinse Rijk van 12 BC tot de vijfde eeuw AD, waarbij de grens werd gevormd door de Rijn. De vroegste sporen van ijzerproductie in Nederland stammen uit deze periode, maar die zijn alleen buiten het Romeinse Rijk gevonden, namelijk in het Vechtgebied in Overijssel, Germania Libera, bewoond door Frankische stammen. Langs de rivier de Vecht, Overijssel, zijn verschillende kleinschalige productiegebieden gevonden, zoals in Ooster Dalfsen. Daarnaast zijn in Heeten de resten van een grootschalige ijzerproductiesite opgegraven. Deze twee locaties zullen nu besproken worden (afb. 1, genummerde locaties 1 en 2).

Ooster Dalfsen

In Ooster Dalfsen is een nederzetting gevonden met drie ovens en een afvalhoop inclusief slakken [8b]. De nederzetting is gedateerd rond 300 – 400 AD [9] aan de hand van potscherven. Twee van de ovens bevatten kuilvullende ovenslakken; de derde kuil was leeg. Doordat de kuilovenslakken *in situ* aanwezig waren, was paleomagnetische datering mogelijk: het geomagnetische veld is bewaard gebleven in de slak op het moment dat die afkoelde. De ouderdom van de oven kon worden vastgesteld tussen de 100 BC en 700 AD [10].

Voor de productie van ijzer was gebruik gemaakt van moerasijzererts wat bleek uit een slak waar nog een stukje moerasijzererts in zat. Er is in totaal 150 kg slakken opgegraven (waarvan 100 kg productieslak). Verder zijn er ook stukjes erts gevonden in de afvalhoop; er zijn geen resten van

klapperstenen gevonden. Het erts was afkomstig uit de moerasige omgeving van de nederzetting, net als de klei voor de constructie van de ovens. Er is in Ooster Dalfsen minimaal 40 kg ijzer geproduceerd, wat voldoende was voor de jaarlijkse benodigde voorraad.

De slakken van Ooster Dalfsen bevatten een hoge concentratie calciumoxide, CaO (tot 12 massa%), iets wat niet verklaard kan worden uit het gebruik van moerasijzererts, ovenbedekking of houtskoolas. Daarom is er waarschijnlijk als flux extra calcium aan de lading toegevoegd gedurende het productieproces. De extra calcium heeft als voordeel dat de smelttemperatuur van een FeO-SiO₂ smelt met 80°C wordt verlaagd, en dat het ijzer in de slak door calcium wordt vervangen, zodat het productieproces een hogere opbrengst heeft. Het vermoeden bestaat dat voor de flux fijngemalen zoetwaterschelpen (mosselen) zijn gebruikt (als bron voor de calcium), omdat de verhouding van de elementen calcium en strontium in de slak sterk overeenkomt met die van zoetwaterschelpen.

Heeten

In 1993 is een Germaanse nederzetting ten zuiden van Heeten ontdekt, 's winters tijdens de constructie van een weg. Deze nederzetting is gedateerd tussen (het laatste kwart van) de tweede eeuw en vierde eeuw AD en is gesitueerd op de rand van een steile en prominente richel, de hoogste in de omgeving, omgeven door met water verzadigde grond.

Enkele honderden grote brokken kuilovenslakken en de overblijfselen van minimaal zeventien ovens zijn in de omgeving van de nederzetting gevonden. Een van de ovens is goed bewaard gebleven en kon goed bestudeerd worden (afb. 8). Door middel van boringen kon de aanwezigheid van 45 tot 50 ton productieslak worden vastgesteld. Verder zijn er twee houtskoolputten, zogenaamde grubenmeilers, waar hout tot houtskool werd gebrand, en een grote hoeveelheid fosforhoudende wolf in een waterput gevonden. De vondst van de wolf van 7 kg is opmerkelijk, en heeft mogelijk een rituele betekenis gehad [11a]. Ook zijn er ijzeren spijkers en staven gevonden, waarvan een aantal van fosforhoudend ijzer zijn gemaakt. Er is berekend dat in Heeten over een periode van 30-35 jaar totaal 16 tot 18 ton (!) metallisch ijzer is geproduceerd, een veel grotere hoeveelheid dan de jaarlijkse behoefte voor dergelijke nederzettingen; een groot deel is waarschijnlijk gebruikt voor de export. Alleen op de Veluwe is meer geproduceerd (onder andere in het Orderbos) en in Montferland, maar deze locaties waren dan ook van een latere periode. Deze 'massaproductie' van ijzer in Heeten heeft ook een impact gehad op de omgeving: de minimale houtskool tot ijzererts massa ratio is geschat op 0,5:1, wat betekent dat de ijzerindustrie in Heeten minimaal 40 ton houtskool nodig heeft gehad. Door deze enorme houtskoolproductie is een groot gebied rond Heeten ontbost en brandstoftekort is mogelijk de reden geweest van het einde van de ijzerproductie hier.

Tijdens haar onderzoek [2] heeft Joosten verschillende monsters genomen van slakken die zijn gevonden op de productiesites en zij heeft die bestudeerd met transmissie- en reflectiemicroscopie. Ook zijn er monsters genomen van moerasijzererts, de slakken en stukjes van de ovenbekleding die geanalyseerd zijn met behulp van röntgenfluorescentiespectrometrie. Het moerasijzererts bevat een hoge concentratie fosfor en arseen in vergelijking met klapperstenen. Dit komt terug in de slakken afkomstig uit het Vechtgebied, die rijk zijn aan fosfor; in de gevonden wolf, die 0,5% fosfor bevat en in een aantal van de gevonden ijzeren voorwerpen die ook fosfor bevatten. De opbrengst in het Vechtgebied wordt geschat op 30-50% ten opzichte van de hoeveelheid gebruikte moerasijzererts. Een van de conclusies van het onderzoek is dus dat in het Vechtgebied geen klap-

perstenen (die geen fosfor bevatten) zijn gebruikt voor de ijzerproductie in de Romeinse tijd [2].

De Vroege Middeleeuwen

De Veluwe

Hoewel er aanwijzingen zijn dat er op de Veluwe reeds sinds de Romeinse periode ijzer werd geproduceerd, is de ijzerproductie op grote schaal pas rond de Vroege Middeleeuwen op gang gekomen. In de Romeinse Tijd is er op de Veluwe wel op kleine schaal in kuilovens ijzer geproduceerd.

Op dit moment zijn er op de Veluwe meer dan 70 slakkenhopen en lange rijen ijzerkuilen gevonden, die nog steeds zichtbaar zijn [1, 2]. Uit historische bronnen blijkt dat in het verleden veel van de slakkenhopen zijn verdwenen en o.a. gebruikt zijn voor wegverharding en verwerkt zijn in de 19^{de} eeuwse smeltovens (bijvoorbeeld in Deventer). Duidelijk is dan ook dat er veel meer slakken aanwezig geweest moeten zijn dan dat er gevonden zijn. De gevonden slakken zijn vloeislakken, waaruit blijkt dat er op de Veluwe aftapovens zijn gebruikt.

Klapperstenen werden gebruikt als erts voor de ijzerproductie op de Veluwe: de klappersteenhoudende lagen in de stuwwal zijn tijdens de voorlaatste ijstijd verticaal gezet door de druk van het landijs. De klappersteenbanden lopen nu als linten door het landschap, hoewel je tegenwoordig wel goed moet zoeken om nog een klappersteen te vinden. Ook zijn er in de slakkenhopen stukjes klappersteen gevonden. De klapperstenen werden in dagbouw gewonnen: de zo ontstane ijzerkuilen zijn tot vier meter diep en beslaan een totale lengte van 82 km.

Enkele plaatsen met restanten van ijzerproductie zijn (zie ook afb. 1 en 12):

Asselsche veld: dubbele rij ijzerkuilen die de Hessenweg kruist.

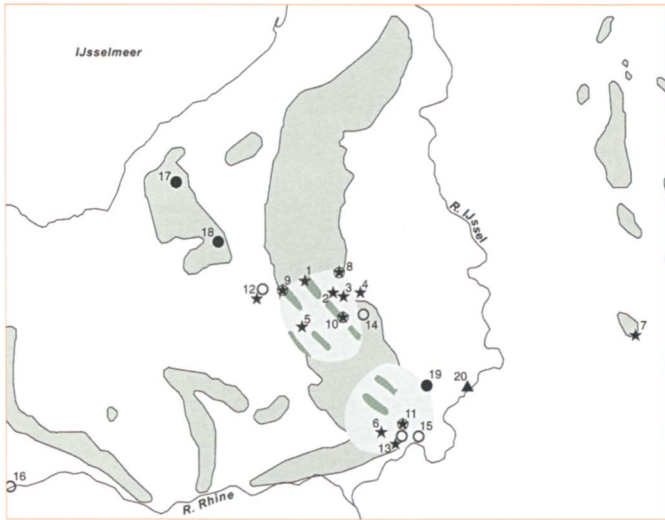
Orderbos (nabij Apeldoorn): grootst bekende slakkenhoop, voornamelijk bestaande uit vloeislakken, maar ook ovenbodem, sintels, houtskool, restanten van ovens en honderden kleine stukjes wolf; verder zijn er ook restanten van vijf ovens onder de slakkenhoop en verbrande stukjes klappersteen gevonden.

Braamberg (nederzetting uit de 7^{de} eeuw AD): klapperstenen gevonden nabij een ijzerkuil en restanten van ijzerbewerking.

Spelderholt: meer dan 17 slakkenhopen (vloeislakken).

Beekbergen (Hoog Buurlo), Onzalige Bosschen, De Steeg, Koepel de Kaap: slakken.

Op een groot aantal locaties (genoemd in afb. 12) heeft Joosten [2] monsters verzameld en geanalyseerd (macroscopisch, microscopisch en chemisch). Gebleken is dat de opbrengst van het productieproces tussen de 35 en 55% lag. Dit is berekend door de chemische samenstelling van de klapperstenen en de vloeislak te vergelijken. Uit de slakkenhoop in het Orderbos, geschat op 650 ton slakken, is berekend dat er minimaal 325 ton ijzer moet zijn geproduceerd. Dit betekent dat er 1235 ton erts moet zijn gebruikt! De totale ijzerproductie op de Veluwe wordt geschat op 55.000 ton wolf (bepaald uit een geschatte hoeveelheid slakken van minimaal 110.000 ton): de grootst bekende productie in West-Europa in deze periode. Wellicht werd een gedeelte van het ruwe ijzer geëxporteerd naar de Karolingische handelsplaats Dorestad, het huidige Wijk bij Duurstede. De chemische samenstelling van enkele stukken vloeislak komt overeen met die van vloeislakken van de Veluwe. Vanuit de handelsstad kan het product verder zijn doorgevoerd.



Afb. 12. De Veluwe. Asterisk: klapperstenen; Open cirkels: Vroeg-Middeleeuwse slakken; Zwarte cirkels: Romeinse slakken; Zwarte driehoeken: moerasijzererts; 1: Asselsche Veld; 2: Ugchelen; 3: Heidehof; 4: Apeldoorn; 5: Klein Dabbelo; 6: Rozendaelse Zand; 7: Barchem; 8: Orderbos; 9: Braamberg, Hoog Buurlo; 10: Spelderholt; 11: Onzalige Bosschen; 12: Kootwijk; 13: Koepel de Kaap; 14: Beekbergen; 15: De Steeg; 16: Dorestad; 17: Ermelo; 18: Garderen; 19: Laag Soeren; 20: Leuvenheim Bron: [2]

Om deze hoeveelheid ijzer te produceren gedurende 250 tot 400 jaar is een hoeveelheid van 105.000 ton houtskool nodig geweest. Een mogelijkheid is dat hiervoor een aantal aangelegde eikenhakhoutbosjes om de 15 jaar werden 'hergebruikt'. Pollenanalyse heeft uitgewezen dat de ontbossing en stuifzanden op de Veluwe niet zijn veroorzaakt door de Vroeg-Middeleeuwse ijzerproductie; zij zijn pas ontstaan nadat de ijzerproductie was gestopt. Veranderingen in het politieke systeem, opkomende ijzerproductie in het Rijngedebied en het feit dat klapperstenen schaars werden, kunnen het einde van de ijzerproductie in de Veluwe hebben betekend.

Montferland

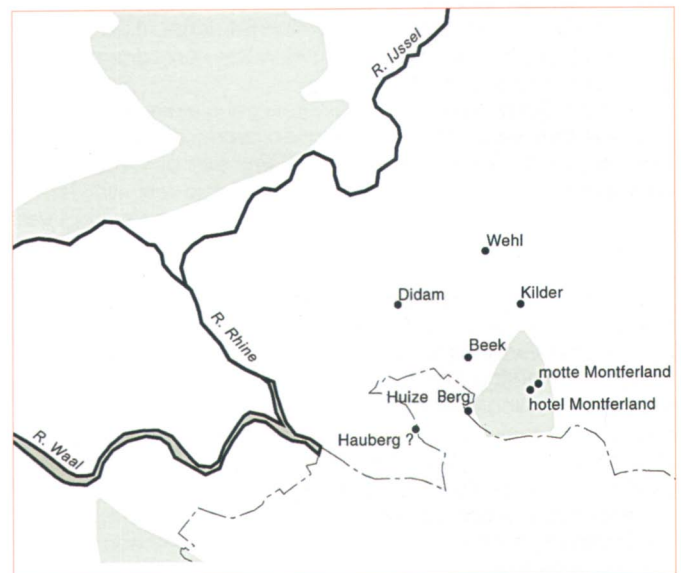
Ook in het oosten van Nederland, in het Montfergebied, zijn restanten gevonden van grootschalige ijzerproductie: slakkenhopen en ijzerkuilen ongeveer een kilometer van elkaar verwijderd. Er zijn geen nederzettingen bekend in de omgeving van het winningsgebied. Wel is bekend dat de familie 'Wichmann' veel land en kastelen in de omgeving had. Zij bezat in ieder geval een kasteel in de buurt van Hauberg. Dit suggereert dat de verdeling van de winningsgebieden voor klapperstenen gebaseerd was op een feodaal systeem. De stuwwal in dit gebied wordt begrensd door twee grote rivieren: de Rijn en de IJssel. De lager gelegen delen zijn moerassig. Voor een overzichtskaart van het gebied, zie afb. 13.

Ook in Montferland werden klapperstenen gebruikt als erts in aftapovens, net als op de Veluwe, hoewel er moerasijzererts aanwezig was in de moerassige gebieden. Helaas konden de slakkenhopen maar gedeeltelijk onderzocht worden, daar de meeste verloren zijn gegaan of begraven liggen onder dorpen zoals Wehl, Didam, Kilder en Beek (zie ook afb. 13). In Montferland is helaas nog niet zoveel bekend; er zijn slakken(hopen) ontdekt op de Hulzenberg, in Kilder en bij Hotel Montferland. Er zijn slechts twee nederzettingen ontdekt tijdens archeologische opgravingen: in de omgeving van Wehl en Didam. Hoewel het beeld van de Middeleeuwse ijzerproductie in Montferland incompleet is, is de technologische standaard van de ijzerproductie, daterend van de 9^{de} tot de 11^{de} eeuw AD, vergelijkbaar met die van de Veluwe.

Onderzoek aan klapperstenen en slakken uit bovengenoemde plaatsen heeft de volgende ruwe schattingen opgeleverd betreffende de minimale hoeveelheden slakken (12.000 ton), de totale ijzerproductie (6000 ton), de opbrengst (50 - 65%) en de houtskoolbehoefte (12.000 ton).

De producenten hebben gebruik gemaakt van eikenhout om houtskool te maken. Een schatting is dat een totaal van 1200 hectare eikenbos nodig is geweest (10 ton per hectare). Aangenomen wordt dat er waarschijnlijk om de 15 jaar een vast oppervlakte van het eikenbos is hergebruikt, zodat 60 hectare bos voldoende was. Ontbossing is waarschijnlijk niet de oorzaak geweest van de neergang van de ijzerproductie in Montferland (het gebied was bosrijk genoeg vanwege de vochtige gronden), maar omdat de Wichmanni hun invloed verloren in het gebied.

Samenvattend blijkt dus dat de drie gebieden verschillen in erts- en ovengebruik [11b]. In de Romeinse periode werd in het Vechtgebied ijzer geproduceerd uit moerasijzererts in kuilovens. Klapperstenen in aftapovens zijn gebruikt op de Veluwe en in Montferland in de Vroege Middeleeuwen. Zie ook tabel 1 voor een samenvatting. Dat de technologie van de ijzerproductie zich ontwikkelde gedurende deze tijd, is het duidelijkst zichtbaar op vier gebieden.



Afb. 13. Overzichtskaart van het Montferland. De grijze gebieden zijn stuwwallen. Bron: [2]

1. *Gebruik van klapperstenen.* Klapperstenen kregen de voorkeur boven moerasijzererts, omdat ze meer ijzer bevatten en makkelijk reduceerbaar zijn.
2. *Hogere productieopbrengst.* De opbrengst gedurende de Vroege Middeleeuwen was beduidend hoger in vergelijking met de Romeinse periode.
3. *Soort oven.* Het continue, arbeidsintensieve gebruik van de aftapovens ten opzichte van het eenmalige gebruik van de kuilovens (waardoor telkens een nieuwe oven gemaakt moest worden) markeert ook een technologische vooruitgang.
4. *Houtmanagement.* De aanleg en het cyclisch gebruik van eikenhakhoutbossen zorgden voor een continue houttoevoer voor de productie van houtskool. Ook werd op deze manier ontbossing tegengegaan (bewust of onbewust), zoals in de Romeinse periode wel in Heeten is gebeurd.

Dankbetuiging

Voor de totstandkoming van dit artikel ben ik dank verschuldigd aan dr. Ineke Joosten. Zonder haar enthousiaste en

Tabel 1. Samenvatting van enkele karakteristieken voor de drie productiegebieden

Vechtgebied	Veluwe	Montferland
Periode (AD)		
1 ^e – 4 ^{de} eeuw	7 ^{de} – 9 ^{de} eeuw	9 ^{de} – 11 ^{de} eeuw
Erts gebruikt voor grootschalige productie		
moerasijzererts	klapperstenen	klapperstenen
Soort oven		
kuiloven	aftapoven	aftapoven
Opbrengst		
30 – 50%	35 – 50%	50 – 65%
Productie		
kleine en grote schaal	grote schaal	grote schaal
Bijzonderheden		
Eerst bewijs van het gebruik van een calciumrijke flux (in Ooster Dalfsen)	Grootst bekende slakkenhoop (vloeslakken, in het Orderbos)	Ertswinning (en ijzerproductie) gebaseerd op feodaal systeem

actieve steun, hulpvaardigheid en de ter beschikking stelling van haar dissertatie had ik nooit geweten hoe interessant (en belangrijk) de vroeghistorische Nederlandse ijzerproductie is (geweest). Ook wil ik graag mev. J. Stemvers - van Bemmel bedanken voor haar (opbouwend kritische) begeleiding.

Noten

1. Voor meer informatie over de NKAM, raadpleeg de website <http://www.nkam.nl/>
2. Voor meer informatie over het ICN, raadpleeg <http://www.icn.nl>
3. Voor meer gedetailleerde informatie betreffende het productieproces Verwijs ik naar bron [2], hoofdstuk 2
4. Voor gedetailleerdere informatie over slakken en de verschillen in hun onderlinge morfologie verwijs ik naar bron [2]. Hierin wordt ook verwezen naar andere artikelen van verschillende auteurs m.b.t. slakken.
5. Indeling volgens McDonnell J.G., *Tap slags and heart bottoms, or, how to identify slags*, Current Archaeology 86, pag. 81-3, 1983.
6. J.D. Moerman heeft diverse interessante artikelen geschreven:
 - Moerman, J.D., *IJzerkuilen op de Veluwe*, Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, 2^{de} serie, deel XLV, 744-58, 1928
 - In Bijdragen en Mededelingen Gelre: 1957 nr. 63, *Oude Smeedijzerindustrie*, pag. 1-30, 1960 nr. 59, *Oude Smeedijzerindustrie II*, pag. 1-37, 1968-9 nr. 64, *Oude Smeedijzerindustrie III*, pag. 1-30, 1970 nr. 64 *Oude Smeedijzerindustrie III (vervolg)*, pag. 1-41.

Bibliografie

1. Joosten, I. en Nie, M.; *Vroeg-middeleeuwse ijzerproductie op de Veluwe*, Madoc, jaargang 9, nr. 3, oktober 1995
2. Joosten, I.; *Technology of Early Historical Iron Production in the Netherlands*, Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 2, volume 2, 2004
3. TNO-NITG – INFORMATIE, december 2002
4. <http://geoinn.veteranen.nl/steenvandemaand.htm>
5. Faber, F. J.; *Nederlandsche Landschappen; bodem, grond en geologische bouw*. Uitgever J. Noorduijn en zoon, Gorinchem, 1942

- 6a. Lijn, P. van der; *Keienboek*. Uitgever W.J.Thieme, Zutphen, 1923
- 6b. Burg, WJ van der; The formation of rattlestones and the climatological factors, which limited their distribution in the Dutch Pleistocene, 1: The formation of rattlestones, *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology* 6, 105-124, 1969.
- 6c. Burg, WJ van der; The formation of rattlestones and the climatological factors, which limited their distribution in the Dutch Pleistocene, 2: The climatological factors, *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology* 7, 297-308, 1970.
7. Loef, J. J.; *Composition and genesis of rattlestones from Dutch soils as shown by Mössbauer spectroscopy and XRD*. *Geologie en Mijnbouw* 79 (1): 59-71; 2000
- 8a. Nie, M van, Ertswinning en ijzerproductie op de Veluwe: Aanzet tot nader onderzoek, IPP-scriptie 1990-5, Amsterdam, 1990.
- 8b. Nie, M.van, Joosten, I., *Inheems-Romeinse ijzerproductie aan de keizersteeg. Een proefonderzoek te Ooster Dalfsen*, Archeologische kroniek van Overijssel 1992, Overijsselse Historische Bijdragen 107, pag. 196-8.
9. Nie, M., *A short introduction to the iron production in the Netherlands*, In: IJzersterk: experimenten ijzer winnen en smeden te Eindhoven, Ommel, pag. 12-5, 1993.
10. Hoof, van et al., *Archeomagnetic dating of seven archaeological fireplaces in the Netherlands*, *Geologie en Mijnbouw* 76, pag. 155-62, 1997
- 11a. Godfrey, E.M. et al., *Early evidence for the use of ultra-high carbon steel in Europe*. In S Forenius (ed), The introduction of iron in Eurasia, Uppsala October 4-8, 2001, Abstracts, Research Report R0105, 17, 2001.
- 11b. Nie, M. van, Three iron-producing areas in the Netherlands: Contrasts and similarities, in G. Magnusson (ed.), The importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social change, papers presented at the Norberg Conference on May 8-13, 1995 Volume 1, 100-106, 1995.

Websites

- I. <http://geoinn.veteranen.nl/steenvandemaand.htm>
- II. <http://universiteitsmuseum.colo.basicorange.nl>
- III. <http://www.nkam.nl>
- IV. <http://www.icn.nl>
- V. <http://geoinn.veteranen.nl/steenvandemaand.htm>