

---

# ZILVERMIJNBOUW in de Gouden Eeuw van Athene

---

door Hans van der Valk

Mijnen in het zuidoostelijk deel van Attica produceerden in de vijfde en de vierde eeuw v. Chr. grote hoeveelheden zilver, die een belangrijke functie bij de politieke en de maatschappelijke ontwikkeling van Athene vervuld hebben. Nadat de zilverproductie in het begin van de vijfde eeuw fors gestegen was, financierden de Atheners met de staatsinkomsten uit de mijnbouw een grote oorlogsvloot, waarmee zij het gebied rond de Egeïsche Zee overheerst hebben. De politieke en militaire macht van Athene was in de vijfde en de vierde eeuw gekoppeld aan de omvang van de zilverproductie op Attica. Anderzijds was de omvang van de zilverproductie sterk afhankelijk van de politieke stabiliteit en van de militaire veiligheid.

De Grieken wonnen het zilver met eenvoudige technische hulpmiddelen uit erts met een laag zilveragehalte volgens een gecompliceerd productieproces, dat uit een aantal afzonderlijke produktiestappen bestond. De schachten, de mijngangen en de ruïnes van technische installaties, zoals ertswasserijen en waterreservoirs uit de Oudheid zijn indrukwekkende industriële monumenten. De mijnen werden geëxploiteerd door particuliere ondernemers, die mijnconcessies van de staat pachtten en die slaven als mijnwerkers in dienst hadden.

## Athene als grote mogendheid

Athene, de hoofdstad van het schiereiland Attica in Midden-Griekenland, was in de vijfde eeuw v. Chr. een centrum van politieke macht en internationaal handelsverkeer dankzij de winstgevende exploitatie van zilvermijnen in Attica bij de huidige havenstad Lavrion. Door haar welvaart werd Athene ook het culturele centrum van de Griekse wereld. Afb. 1. In de vijfde en de vierde eeuw werd het monumentale tempelcomplex op de Akropolis gebouwd en leverden kunstenaars en wetenschapsmensen in Athene een substantieel aandeel aan de Europese beschaving. De welvaart van de stad was echter te danken aan duizenden slaven, die voor de zilverwinning werkten in nauwe mijngangen, in stoffige werkplaatsen voor mineraalscheiding en bij metallurgieovens, waaruit gevaarlijke dampen ontsnapten. Het leven van deze mijnwerkers was gevaarlijk en ongezond.

Athene maakte in het begin van de vijfde eeuw een stormachtige ontwikkeling door. Omstreeks 500 daagden Athene en de stad Eretria op het eiland Euboea het Perzische Rijk uit door een opstand van Ionische Grieken in Anatolië tegen de Perzische koning te steunen. Na de onderdrukking van de Ionische opstand in 492 besloot de Perzische koning wraak op Athene en Eretria te nemen en Griekenland aan zijn gezag te onderwerpen. Een Perzisch invasieleger voer in 490 de Egeïsche Zee over en nam de stad Eretria in, waarvan de bevolking als slaven afgevoerd werd. Athene versloeg het invasieleger in de slag bij Marathon zonder hulp van bondgenoten en vestigde daarmee haar naam als een militaire mogendheid. In 483 besloten de Atheners op voorstel van de staatsman Themistocles de staatsinkomsten uit de zilvermijnen te besteden aan een oorlogsvloot van 200 triremen. Themistocles wilde het eiland Aegina in de buurt van Attica met deze schepen aanvallen. Triremen waren ramgaleïen, die in slag-

orde vochten. De bemanning van een trireme bestond uit 10 à 20 soldaten en 170 roeiers, die uit de bevolking van Attica gerecru-teerd werden en die getraind werden om ingewikkelde manoeuvres met de schepen te kunnen uitvoeren. Een vloot van 200 triremen was voor een staat met de omvang van Attica buitengewoon groot. Het schiereiland had in de Oudheid waarschijnlijk niet meer dan 300.000 inwoners, terwijl de oorlogsvloot 34.000 roeiers nodig had.

De Atheense vloot heeft een doorslaggevende rol bij de verdediging van de Griekse onafhankelijkheid gespeeld. Een reusachtig Perzisch leger trok in 480 onder leiding van koning Xerxes Midden-Griekenland binnen en verwoestte Athene en andere steden. Kort daarna vochten de 200 triremen van Athene zij aan zij met 180 triremen van andere Griekse staten, waaronder Aegina, bij het eiland Salamis voor de kust van Attica tegen een Perzische vloot, die ongeveer duizend schepen omvatte. Omdat de Perzische vloot bij Salamis door de Grieken verslagen werd, moest koning Xerxes zich met zijn leger uit Griekenland terugtrekken en was de Griekse onafhankelijkheid gered.

Na de zeeslag bij Salamis was de Atheense vloot heer en meester op de Egeïsche Zee tussen Griekenland en Anatolië. In de jaren na 480 werden de Perzen verdreven uit de gebieden rond de Egeïsche Zee waar Grieken woonden. Athene verenigde in 477 de meeste Griekse staten op de eilanden en op de kusten van de Egeïsche Zee in de Liga van Delos met het doel het gemeenschappelijk grondgebied tegen het Perzische Rijk te verdedigen. De leden van de Liga waren verplicht om contributie te betalen of om schepen af te staan. Athene overheerste de Liga en behandelde leden die hun verplichtingen verzaakten als opstandelingen. De Egeïsche Zee was een Atheense binnensee geworden.

## Het mijnbouwgebied op Attica

Het gebied met de zilvermijnen ligt in het zuidoostelijk deel van het schiereiland Attica direct ten noorden van Kaap Sounion. Het gebied is in noord-zuid richting ongeveer 15 km lang en in oost-west richting ongeveer 5 km breed. De bodem van dit deel van Attica bestaat, schematisch weergegeven, uit een viertal lagen, die van boven naar beneden fylliet, marmar, schist en opnieuw marmar bevatten. Holten en spleten bij de contacten tussen fylliet en marmar, tussen marmar en schist en in de marmarlagen zelf kunnen opgevuld zijn met mengsels van de sulfidische (zwavelhoudende) ertsmineralen galeniet, sfaleriet en pyriet, respectievelijk lood-, zink- en ijzersulfide. Afb. 2 en 3. Deze ertsgangen bevatten ook kleine hoeveelheden zilver, dat in het kristalrooster van de galeniet is ingebouwd. Het was de Griekse mijnbouwers om het zilver in de galeniet begonnen.

De mineralogische samenstelling en het zilveragehalte van de ertsgangen verschillen onderling sterk. De ertsgangen bij het derde contact: dat tussen de schist en de onderste marmarlaag, bevatten in het algemeen vrij veel galeniet en zijn daardoor in vergelijking tot de andere ertsgangen ook rijk aan zilver.

Geologische formaties met ertsgangen van galeniet, sfaleriet en pyriet zijn niet zeldzaam en werden vroeger vaker om het zilver geëxploiteerd. Ertsgangen dichtbij de aardoppervlakte zijn vaak verweerd door de inwerking van vocht en kooldioxide uit de bovenste aardlaag. Galeniet en sfaleriet zijn in dit geval omgezet in oxiden en carbonaten van lood en zink. Het gedeelte van de bodem waarin verweerde ertsen voorkomen wordt de oxidatiezone genoemd.

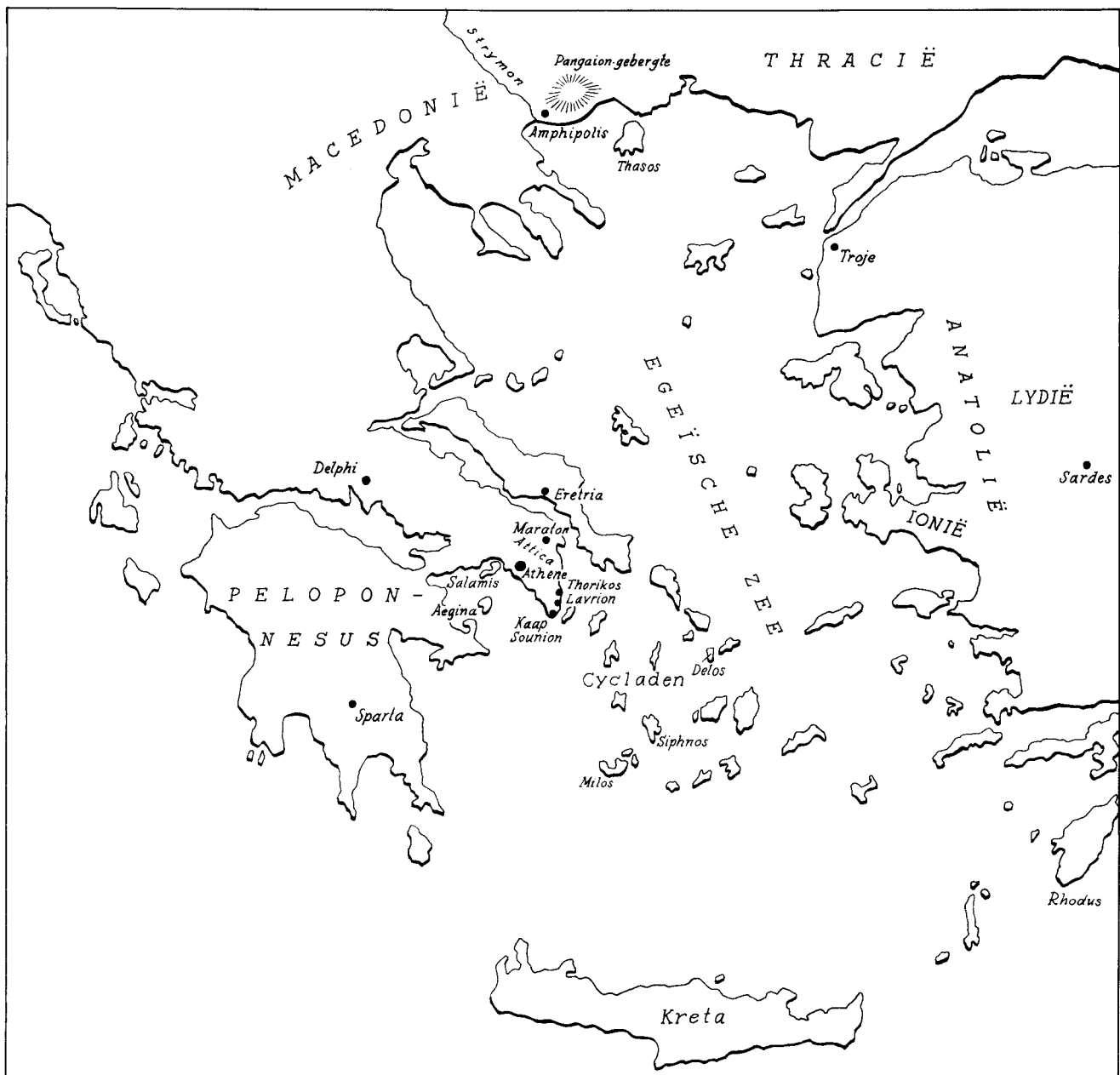
Bij de exploitatie van een mijnbouwgebied worden meestal eerst de verweerde ertsen ontgonnen, omdat deze ertsen dicht onder de aardoppervlakte liggen en omdat verweerde ertsen op een eenvoudige manier met houtskool in een oven tot metalen verwerkt kunnen worden. De sulfidische ertsen onder de oxidatiezone kunnen minder gemakkelijk tot metalen verwerkt worden, omdat houtskool deze chemische verbindingen niet rechtstreeks in metalen kan omzetten. De overgang van de ontginning van verweerde ertsen naar de ontginning van sulfidische ertsen is pas mogelijk, als men over de kennis van de veel ingewikkelder metallurgische processen voor de verwerking van de sulfidische ertsen beschikt.

De zuidoost-hoek van Attica is een mijnbouwgebied met een lange geschiedenis. Bij de antieke plaats Thorikos zijn restanten gevonden van een mijn, die uit de periode rond 2700 v. Chr. stamt. Vele archeologische voorwerpen uit de periode tussen 2900 en 1200 v. Chr., afkomstig van het Griekse vasteland, de Cycladeneilanden in de Egeïsche Zee en Kreta, zijn gemaakt van

zilver en lood uit Attica. In de periode tussen 2200 en 1500 voerde Attica waarschijnlijk ook zilver naar Egypte uit. Deze gegevens zijn verkregen met moderne analysemethoden voor materialenonderzoek. De prehistorische metaalwinning in Attica werd vermoedelijk gestaakt bij de ondergang van de Myceense cultuur op het Griekse vasteland omstreeks 1200.

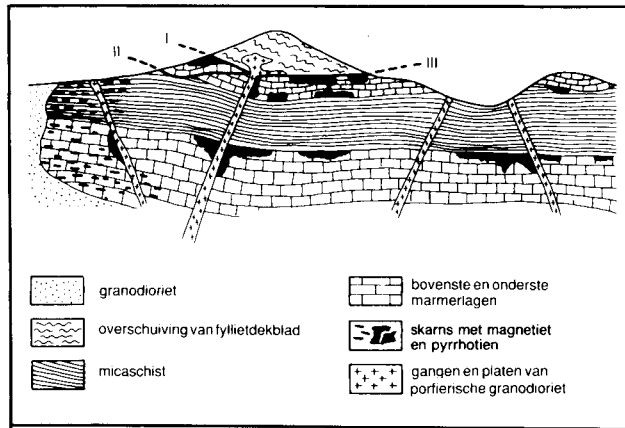
In de klassieke Oudheid produceerde Attica opnieuw zilver en lood in een periode, die waarschijnlijk in de zesde eeuw v. Chr. begon en in de eerste eeuw v. Chr. afgesloten werd. Er zijn meer dan 2000 schachten in het mijnbouwgebied bekend. Deze productieperiode heeft tijden van voorspoed en stagnatie gekend.

De mijnen bereikten in de loop van de vijfde eeuw het hoge produktieniveau van ongeveer 20 ton zilver per jaar. Tussen 413 en 404 v. Chr. werd de zilverwinning bijna volledig stilgelegd als gevolg van een langdurige oorlog tussen Sparta en Athene om de hegemonie in de Griekse wereld. Na de Atheense nederlaag in 404 v. Chr. werden de mijnen weer geopend, maar de zilverproductie was in de vierde eeuw minder omvangrijk dan in de vijfde eeuw. Omstreeks 300 v. Chr. werd de zilverwinning opnieuw gestaakt.



Afb. 1. Kaartje van Griekenland met de in de tekst genoemde topografische namen. Tekening: J.G. Schilthuisen.

Afb. 2. Profiel van de ondergrond in de omgeving van Lavrion, Attica. Naar Marinou en Petrascheck. Duidelijk is te zien, dat de vererfing geconcentreerd is bij de contacten I, II en III en bij de gangen. Gangen en platen van porfierische granodioriet staan in verband met de hydrothermale vormingswijze van de mineralisatie. Het granodiorietmassief, links, dagzoomt in de omgeving van Plaka.



Attica heeft in de tweede en eerste eeuw v. Chr. onder Romeinse heerschappij weer zilver geproduceerd. De zilverwinning in dit tijdvak werd een paar keer onderbroken door slavenopstanden, die in 134 en 104 v. Chr. uitbraken.

In de periode tussen 1865 en 1980 werden wederom metalen in Attica geproduceerd. De huidige havenstad Lavrion is in deze periode ontstaan en kreeg de naam, die in de Oudheid voor het hele mijnbouwgebied gebruikt werd. Afb. 4. De moderne productieperiode werd in 1980 afgesloten, omdat de metaalwinning niet meer rendabel was.

### Archeologische en historische bronnen

De productieperiode in de klassieke Oudheid heeft een grote invloed gehad op de politieke en maatschappelijke ontwikkeling van Athene. Herodotus en Thucydides, twee geschiedschrijvers uit de vijfde eeuw v. Chr., melden vele historische gebeurtenissen, die samenhangen met ontwikkelingen in het Attische mijnbouwgebied. Andere schrijvers uit de Oudheid geven indrukken weer van de invloed van de zilverwinning op het dagelijkse leven in Athene. Rijke mijnondernemers waren belangrijke persoonlijkheden en er werden rechtszaken over conflicten in de mijnbouw gevoerd. De schrijver Xenophon analyseerde de economische toestand van de mijnbouw in het midden van de vierde eeuw.



Afb. 3. Ertslens, ontsloten ten N van Lavrion.

De schrijvers uit de Oudheid geven echter geen technische bijzonderheden over de mijnbouw of een beschrijving van de dagelijkse gang van zaken in het mijnbouwgebied. Er zijn bovendien geen afbeeldingen met betrekking tot de Attische mijnbouw uit de Oudheid overgebleven\*). Voor gegevens over de mijnbouwtechniek en het dagelijkse leven van de mijnwerkers is men aangewezen op de resultaten van archeologisch onderzoek.

De huidige staat Griekenland voerde in 1861 een mijnwet naar Frans voorbeeld in en gunde een paar jaar later een concessie in het oude mijnbouwgebied in Attica aan een Franse onderneming, die vanaf 1865 lood, maar ook zink, uit oude afvalmaterialen produceerde. De verwerking van oude afvalmaterialen werd later overgenomen door een Griekse onderneming, die haar activiteiten in 1910 staakte. De Franse onderneming heeft onder de naam "Compagnie Française des Mines du Laurium" tussen 1876 en 1980 ook nieuwe mijnen geëxploiteerd voor de productie van lood, zink en natuurlijk ook zilver.

De mijnbouw in de Oudheid heeft vele restanten achtergelaten, zoals schachten, mijngangen, ruïnes van technische installaties, slakken en andere afvalmaterialen, die bij het begin van de moderne productieperiode nog in een ongerepte toestand aangekomen konden worden. Een belangrijk deel van deze restanten is door de verwerking van oude afvalmaterialen en door de exploitatie van nieuwe mijnen verdwenen. De Franse archeoloog E. Ardaillon en de Griekse mijnbouwkundigen A.J. Cordellas en Ph. Negrès hebben aan het einde van de vorige eeuw vele bijzonderheden over de historische mijnbouwrestanten gepubliceerd, waardoor veel informatie over de situatie van het mijnbouwgebied bij het begin van de moderne productieperiode bewaard gebleven is. A.J. Cordellas heeft als mijnbouwkundig ingenieur veldonderzoek verricht, voordat de oude afvalmaterialen opnieuw verwerkt werden.

De moderne archeologie besteedt ruime aandacht aan de levens- en werkomstandigheden van de mensen uit het verleden en daarnaast is de belangstelling voor de geschiedenis van technische productieprocessen, zoals de zilverwinning, in de loop van de tijd gegroeid. De mijnbouwrestanten uit de Oudheid in Attica zijn de afgelopen decennia opnieuw onderzocht. Een groep van Belgische archeologen onder leiding van H. Mussche heeft vanaf 1960 een reeks opgravingen bij de antieke plaats Thorikos uitgevoerd. C.E. Conophagos werkte tussen 1937 en 1955 als mijnbouwkundig ingenieur voor de Compagnie Française en heeft later als hoogleraar aan de Technische Universiteit van Athene de historische mijnbouwtechniek in Attica systematisch onderzocht. Zijn boek: *Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent* (1980) bevat een schat aan gegevens. De Duitse historicus S. Lauffer schreef een monografie over de slaven die in de Attische mijnbouw werkzaam waren, en zijn leerling H. Kalcyk publiceerde in 1982 een proefschrift over de Attische zilvermijnbouw.

### Het productieproces in de 5<sup>e</sup> en de 4<sup>e</sup> eeuw v.Chr.

Het zilver werd in de Oudheid in Attica gewonnen uit ertsmineralen die gemiddeld 20 % lood en 0,04 % zilver bevatten. Het edelmetaal zilver vervulde in de Oudheid een belangrijke functie als betaalmiddel en werd als eindproduct van de mijnbouw in de handel gebracht in de vorm van munten, die volgens de toenmalige normen van zuiver zilver gemaakt waren. Athene sloeg voor het internationale handelsverkeer muntstukken van 17,2 gram zilver, die tetradrachmen of uiltjes genoemd worden. Afb. 5.

Lood heeft technische toepassingen als een corrosiebestendig metaal, dat gemakkelijk bewerkt kan worden. De Grieken gebruikten lood ondermeer om schepen waterdicht te maken, om ankers te verzwaren en om bouwelementen aan elkaar te krammen. Lood was geen kostbaar metaal, omdat het in grote hoeveelheden als bijproduct van de zilvermijnbouw gewonnen werd.

De ertsgangen bevatten ook zink en betrekkelijk kleine hoeveelheden ijzer. Deze metalen hebben bij de Attische mijnbouw in de Oudheid geen rol van betekenis gespeeld. Bepaalde mineralen kunnen ook voor de fabricage van kleurstoffen en medicamenten zijn gebruikt.

De productie van zilver uit erts met een laag zilveragehalte is een ingewikkeld proces, dat uit een aantal afzonderlijke produktiestapen bestaat. De werkzaamheden kunnen worden onderverdeeld in **de ontginning van de delfstoffen** en **de verwerking van het erts**.

Bij het productieproces ontstonden verschillende afvalmaterialen, zoals vergruisd nevengeesteente, slakken en restanten litharge (loodoxide in slakvorm). In de slakken bleef een deel van het lood en zilver achter. Bij het begin van de moderne productieperiode in de vorige eeuw zijn de afvalmaterialen opnieuw verwerkt voor de winning van lood, zink en zilver. Conophagos heeft aan de hand van gegevens over de afvalmaterialen een schatting van het produktievolume in de klassieke Oudheid gemaakt. Volgens deze schatting zijn in de periode tussen de zesde tot de eerste eeuw v. Chr. ongeveer 3.500 ton zilver en 1.400.000 ton lood geproduceerd en werd hiervoor ongeveer 13.000.000 ton mineralen ontgonnen. Slechts 67 % van het zilver en 54 % van het lood in het erts werd daadwerkelijk in metalen omgezet.

### Delfstofontginning

Een deel van het zilver werd gewonnen uit verweerde ertsen uit de oxidatiezone dichtbij de aardoppervlakte, die op een eenvoudige manier in dagbouw afgegraven werden.

Verweerde ertsen konden opgespoord worden door het gesteente bij de aardoppervlakte te bestuderen. Mineralen met opvallende kleuren markeerden de plaatsen, waar de ertsen zich bevonden. De plantengroei wordt door de mineralogische samenstelling van de bodem beïnvloed en hiervan kan bij de opsporing van ertsen gebruik gemaakt worden.

De mijnwerkers wisten, dat de dieper gelegen zilverhoudende ertsgangen gezocht moesten worden bij de contacten van de marmerlagen. Zij groeven schachten tot het niveau van een contact en zochten de ertsgangen door vanuit de schacht opsporingsgangen in het gesteente uit te hakken. De schachten hebben rechthoekige doorsneden met afmetingen tussen 130 en 200 cm en zijn tussen 20 en 120 m diep. De hoogte en de breedte van de gangen varieert tussen 60 en 100 cm. Een volwassen man kan alleen op handen en voeten door deze mijngangen kruipen. De mijngangen zijn nauw, omdat het hakken in het harde gesteente zwaar werk was. Een steenhouwer zat aan het einde van een mijngang in een gehurkte houding en sloeg bij het licht van een olielampje stukken steen los met een beitel in de ene hand en een hamer in de andere. De losgeslagen stenen werden via dezelfde mijngangen en schachten naar boven gebracht. Het uithakken van de gangen vorderde slechts langzaam. Een gang van 10 m kon in ongeveer een maand aangelegd worden, als men dag en

Afb. 4. Gezicht op Lavrion vanaf Kamariza.



nacht zou doorwerken. Na de vondst van een ertsgang werd deze door verscheidene steenhouders ontgonnen. Vele opsporingsgangen lopen dood zonder een ertsgang bereikt te hebben.

Een ertsgang werd met hamer en beitel uitgehakt en hierbij ontstond een ondergrondse zaal, waarvan de uiteindelijke vorm door de ruimtelijke structuur van de ertsgang bepaald werd. De steenhouders lieten stukken gesteente als steunpilaren voor het dak van de zaal staan en bouwden op sommige plaatsen steunpilaren door stenen op elkaar te stapelen. De verlichting was afkomstig van olielampjes in nissen, die in de wand van de zaal uitgehakt waren.

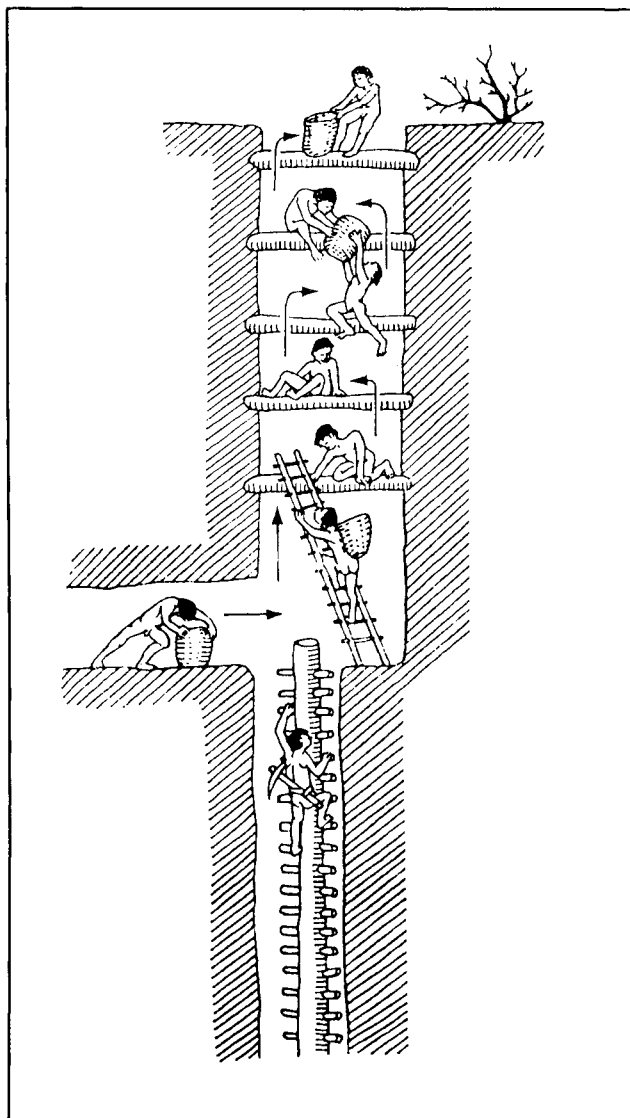
Omdat de mijngangen erg nauw zijn, werd het horizontale transport van de ontginningsplaats naar de schacht waarschijnlijk verzorgd door kinderen, die het erts in manden of zakken door de gangen sleepten. Het verticale transport door de schachten kan op verschillende manieren uitgevoerd zijn. De manden of zakken met erts of losgeslagen nevengeesteente kunnen met een stevig touw aan een haspel naar boven getakeld zijn of kunnen langs ladders naar boven gebracht zijn. Een andere mogelijkheid is, dat het erts in manden of zakken door jongens, die op houten schapen in de schacht zaten, naar boven doorgegeven werd, afb. 6. De transportmiddelen zoals manden, zakken, ladders, touw en haspels waren van vergankelijk materiaal gemaakt en zijn daardoor in de loop van meer dan 2000 jaar verdwenen. De manier waarop het verticale transport uitgevoerd werd kan daarom moeilijk vastgesteld worden. Het is bovendien mogelijk, dat op diverse locaties in het mijnbouwgebied verschillende transport-



Afb. 5. Een Attische tetradrachme uit ongeveer 480 v. Chr.



Afb. 6. Het verticale transport in de schachten, volgens Rebrik..



technieken toegepast werden. In het gesteente bij de bovenkant van sommige schachten zijn constructies uitgehakt, waarvan de betekenis onbekend is. Deze constructies kunnen een functie bij het verticale transport gehad hebben.

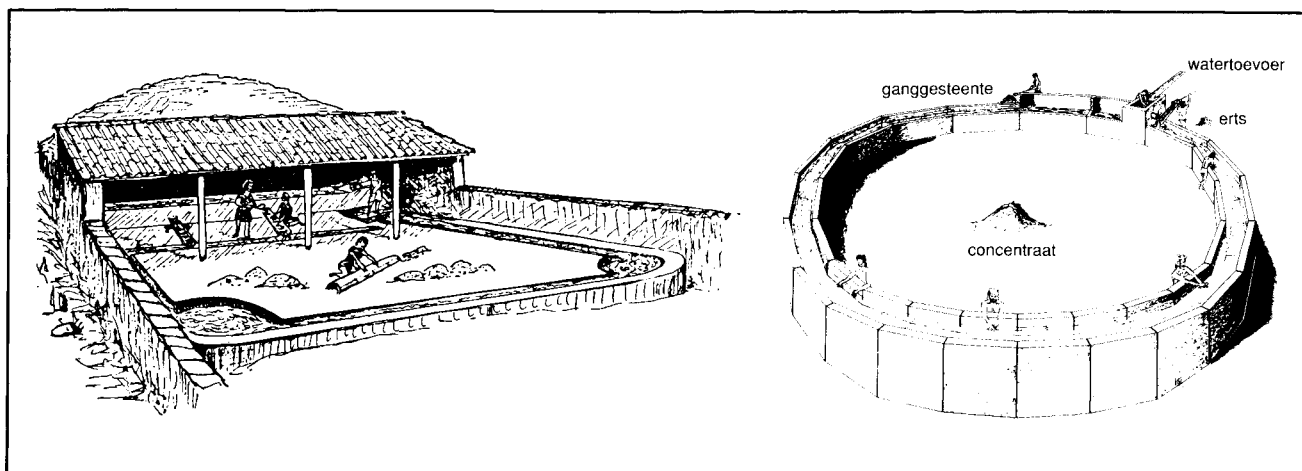
## Mineraalscheiding

Het zilver bevond zich in de galeniet en in mineralen, die door verwerking uit galeniet ontstaan waren. Deze zilverhoudende mineralen waren in de ertsgangen vermengd met mineralen, die geen zilver bevatten. Het erts werd boven de grond verrijkt door mineraalscheiding.

Het erts werd op marmeren tafels gesorteerd: nevangesteente en laagwaardig erts werden met de hand verwijderd. Brokken hoogwaardig erts werden rechtstreeks naar de ovens vervoerd. De rest werd met hamers of zware stenen gebroken tot kleinere stukken, die vervolgens in een ertsmolen tot korrels met afmetingen kleiner dan 1 mm vermalen werden. De Attische ertsmolen bestond waarschijnlijk uit twee rechthoekige molenstenen, die op elkaar lagen. Het erts werd aan de molen gevoed door een gleuf in de bovenste steen en werd tussen de twee stenen fijn gewreven door de bovenste steen met een stok heen en weer te bewegen. De molenstenen waren gemaakt van trachiet, een hard gesteente van vulkanische oorsprong, dat waarschijnlijk op het Cycladen-eiland Milos gewonnen werd.

De loodmineralen hebben hogere soortelijke massa's dan het nevangesteente en de andere mineralen in de ertsgangen. Ertskorrels met lood zullen zich daarom langzamer in stromend water verplaatsen dan korrels zonder lood. Deze eigenschap werd gebruikt door het vermalen erts te wassen in water, dat door een wasgoot stroomde. De zware korrels werden opgevangen in komvormige uitsparingen in de bodem van de wasgoot en de lichte korrels werden door het stromende water meegenomen. Deze vorm van mineraalscheiding kan niet helemaal volledig zijn. Door fluctuaties in de waterstroom zal een deel van de zware korrels door de waterstroom meegenomen worden of zal een deel van de lichte korrels in de komvormige uitsparingen terecht komen. Bovendien zijn er korrels met verscheidene mineralen, die met elkaar vergroeid zijn. Het erts in de komvormige uitsparingen was verrijkt aan lood en zilver, maar bevatte nog zekere hoeveelheden zink- en ijzermineralen.

Het erts werd in Attica gewassen in twee verschillende soorten installaties, respectievelijk de rechthoekige wasserij en de ronde wasserij. Afb. 7. Waarschijnlijk werden de twee soorten wasserijen voor ertsen met verschillende mineralogische samenstelling gebruikt. De wasserijen waren grotendeels van steen gebouwd en hebben daardoor de tand des tijds doorstaan (afb. 8). In een rechthoekige wasserij stroomde het water vanuit een hoog waterbassin door een aantal houten wasgoten en werd daarna via een stelsel van kanalen en bezinkbakken geleid naar een laag waterbassin, dat naast het hoge bassin geplaatst was. In een ronde



Afb. 7. Reconstructie van een ertswasserij: A. rechthoekig type (naar J.F. Healy); B. rond type (naar T. Hacquaert).

Afb. 8. Tegenwoordige toestand van de ertswasserij bij Thorikos.



wasserij stroomde het water van een hoog bassin naar een laag bassin door een cirkelvormige wasgoot, die in de bovenkant van een kring van stenen uitgehakt was. Bij beide soorten waterrijen hoosde een werkmans het water met een emmer van het lage naar het hoge bassin en werd het vermalen erts bij de uitstroombaan van het hoge bassin aan de waterstroom gevoed met behulp van een schep of een glijgoot. De lichte korrels bezonken bij een rechthoekige waterrij in de bezinkbakken en bij een ronde waterrij in het lage waterbassin. Als de komvormige uitsparingen van een houten wasgoot in een rechthoekige waterrij met verrijkt erts gevuld waren, kon deze wasgoot uit het stroomcircuit genomen worden en geleegd worden op een plaats, waar het verrijkte erts kon drogen. Bij een ronde waterrij moesten de werklieden de komvormige uitsparingen met hun handen leeg scheppen. Water was voor de mineraalscheiding een onmisbaar hulpmiddel. Daarom werden bij de waterrijen grote waterreservoirs aangelegd. Afb. 9. De reservoirs zijn in de grond uitgegraven en zijn voorzien van een waterdichte wand, die uit metselwerk, beton en cement bestaat. De constructeurs van de waterrijen en de waterreservoirs gebruikten beton, dat ongeveer dezelfde samenstelling en korrelstructuur als modern beton heeft, en dekten het af met een laagje waterdicht cement, dat bijzonder fijnkorrelig is. Afb. 10. De constructeurs maakten deze bouwmaterialen door verschillende mineralen volgens een bepaalde verhouding met elkaar te mengen. Ook werden dakconstructies boven de reservoirs aangebracht om verdamping tijdens de lange droge periodes tegen te gaan.

## Productie van werklood

Het verrijkte erts werd met houtskool in een oven omgezet in werklood, dat naast lood een aantal andere bestanddelen, waaronder zilver bevatte. De technische installaties voor de productie van werklood kunnen niet meer volledig gereconstrueerd worden, omdat de ovens niet robuust gebouwd waren en in de loop van de tijd zo sterk vervallen zijn, dat alleen restanten van de funderingen overgebleven zijn. De ovens waren als ovenbatterijen gegroepeerd en stonden in een ruimte tussen stenen muren. Het werklood werd in Attica geproduceerd in schachtovens met een binnendiameter van ongeveer 1 m en met een hoogte van enkele meters. De ovens waren gemaakt van trachiet en bepaalde soorten schist, die hittebestendig zijn en die in Attica gevonden kunnen worden. Het erts werd, vermengd met houtskool en eventueel een toeslag (zoals zand, klei, kalk) omgezet bij een temperatuur tussen 800 en 1200 °C onder een luchtstroom uit blaasbalgen. Door chemische processen in de oven ontstonden werklood, slakken, en stoffen die in de lucht verdwenen. Er kan toeslag aan het erts toegevoegd zijn om het proces in de oven soepel te laten verlopen. Het erts, de houtskool en de andere toevoegingen werden door een opening in de bovenkant van de oven gestort. Het werklood en de slakken stroomden in gesmolten

Afb. 9. Overblijfsels van waterreservoirs bij Botsari.



toestand uit een opening bij de onderkant van de oven en werden naderhand met een ijzeren staaf van elkaar gescheiden. Het metallurgische proces in de ovens kan slechts gedeeltelijk worden gereconstrueerd, omdat niet bekend is welke samenstelling aan de ovens gevoed werd. Een ander probleem is, dat een groot gedeelte van het erts uit galeniet bestond, dat als loodsulfide niet rechtstreeks door houtskool in lood omgezet kan worden. Sulfidische ertsen zoals galeniet worden meestal eerst in oxiden omgezet door de ertsen aan de lucht te roosten en worden pas



Afb. 10. Antieke afdichting van waterwerken met beton en cement bij Botsari, iets gerestaureerd.



daarna in een schachtoven verwerkt. Restanten van installaties voor het roosten van sulfidische ertsen zijn in Attica echter niet gevonden en daarom kan aangenomen worden, dat de galeniet niet in een afzonderlijke produktiestap geroost werd. Proeven met eenvoudige schachtovens laten zien, dat galeniet toch wel, zij het via een lange reeks processen, in zo'n oven met houtskool in werklood omgezet kan worden. Hierbij wordt echter niet alle lood uit de galeniet als metaal gewonnen. Een gedeelte van het lood blijft chemisch gebonden en komt in de slakken terecht. De omzetting van erts naar werklood was in Attica inderdaad onvolledig. De slakken bevatten gemiddeld nog 15 % lood. De onvolledige omzetting had nauwelijks een nadelig effect op de zilverbrenngst, omdat vrijwel al het zilver bij het ovenproces in het werklood terecht kwam. Slechts zeer kleine hoeveelheden zilver zijn in de slakken achtergebleven.

## Winning van zilver uit werklood

Het zilver werd uit het werklood gewonnen met het cupellatie- of afrijfproces. Het werklood wordt bij dit proces in een koepeloven verhit in een kroes van beenderas, die een cupel genoemd wordt, bij een temperatuur tussen 900 en 1000 °C onder een luchtstroom uit een blaasbalg. Het lood en de meeste andere bestanddelen van het werklood worden onder deze omstandigheden geoxideerd en kunnen als oxiden aan het vloeibare mengsel in de kroes onttrokken worden. De edelmetalen goud en zilver worden niet geoxideerd en, omdat het Attische erts vrijwel geen goud bevat, zal op de lange duur voornamelijk zilver in de kroes overblijven. In de vorige eeuw konden op Attica nog restanten van cupellatieovens uit de Oudheid gevonden worden, maar deze restanten zijn door de ontginning van oude afvalmaterialen in het begin van de moderne produktieperiode verdwenen.

Het werklood dat in Attica geproduceerd werd bevatte gemiddeld 0,2 % zilver en moest een langdurige behandeling ondergaan, voordat het zilver van de rest gescheiden was. Conophagos leidt uit de gevonden overblijfsels van het cupellatieproces af, dat de scheiding in een aantal afzonderlijke stappen uitgevoerd werd. Bij de eerste stap stroomde het geoxideerde lood of litharge, dat in vloeibare vorm op het gesmolten werklood dreef, door een opening in de rand van de kroes. Hierdoor werd het oppervlak van het werklood aan de lucht blootgesteld, zodat zich een nieuw laagje loodoxide (litharge) kon vormen; dit stroomde op zijn beurt door het uitstroombgat naar buiten. Om het peil van het werklood niet te laten dalen werden regelmatig nieuwe stukken werklood aan de kroes toegevoegd. Omdat de nieuwe stukken werklood zilver bevatten, steeg het zilveragehalte van het gesmolten mengsel in de kroes. Dit proces ging door totdat het werklood voldoende aangerijkt was om de volgende stap te ondergaan. Deze vond waarschijnlijk in een andere koepeloven plaats.

Het verrijkte werklood werd opnieuw in gesmolten toestand aan de lucht blootgesteld, maar nu werd de litharge door ijzeren staven, waaraan deze zich vasthechtte, verwijderd. Na verloop van tijd bevatte de kroes zilver, dat nog enigszins verontreinigd was. De litharge die bij de eerste stap van het cupellatieproces uit de kroes stroomde, werd in een platte bak opgevangen. Eventueel meegestroomd werklood kon van de onderkant van de lithargeslak worden afgeslagen. Litharge kon opnieuw met houtskool in een oven in lood omgezet worden of werd als grondstof voor een aantal produkten gebruikt. Het oppervlaktelaagje van cement, dat gebruikt werd om de waterreservoirs en de wasserijen waterdicht te maken, bestond voor ongeveer 30 % uit litharge.

In een derde stap van het cupellatieproces werd het zilver verder gezuiverd door het langdurig in gesmolten toestand aan de lucht te verhitten in een cupel van poreus materiaal. De resterende verontreinigingen verdwenen als oxiden in de lucht en in het poreuze materiaal waarvan de cupel gemaakt was. Het eindprodukt van de Attische mijnbouw bestond uit munten met een zilveragehalte, dat tussen 98,5 en 99,7 % varieerde. Aristoteles meldt, dat het zilver in muntwerkplaatsen op zuiverheid gecontroleerd werd aan de hand van kenmerkende gasbelletjes, die ontstaan bij het stollen van zuiver zilver. Gesmolten zilver neemt zuurstof uit de

lucht op en bij het stollen vormt de zuurstof zichtbare gasbelletjes. Dit effect treedt niet op als het zilver te veel verontreinigingen bevat. Zilver met een gehalte hoger dan 98,5 % is voldoende zuiver om bij het stollen gasbelletjes te vormen.

## Zilver als betaalmiddel

De zilverwinning in Attica kon alleen rendabel zijn, als de ruilvervoet van het zilver tegen goederen en diensten voldoende hoog was. Het zilver werd namelijk gewonnen uit erts, dat gemiddeld slechts 0,04 % zilver bevatte en daarom moesten bij de produktie van het zilver grote hoeveelheden delfstoffen en tussenprodukten verwerkt worden. Het produktieproces was zeer arbeidsintensief, omdat de mijnwerkers slechts over eenvoudige hulpmiddelen beschikten en daarbij hun eigen spierkracht als belangrijkste energiebron gebruikten.

Geld werd in Athene uitgedrukt in gewichtshoeveelheden zilver. De Attische talent woog bijna 26 kg en was onderverdeeld in 60 mina van 0,43 kg en 6000 drachme van 4,3 g. De drachme was tevens de munteenheid en was als zodanig onderverdeeld in 6 obool. De ruilvervoet van het zilver was in Athene vrij hoog. Een welvend Atheens gezin van drie leden en met twee slaven gaf omstreeks 400 gemiddeld 2,7 drachme ofwel 11,6 g zilver per dag uit. Voedsel voor een volwassen man kostte ongeveer 2 obool per dag en de aankoopwaarde van een gezonde mannelijke slaaf bedroeg een paar honderd drachme. De ruilvervoet van het zilver is in de loop van de vierde eeuw lager geworden. Het dagloon van een gespecialiseerde werkmans in de bouw liep op van 1,5 drachme omstreeks 400 v. Chr. tot 2,5 drachme in 329. Deze verlaging van de ruilvervoet had een nadelig effect op de rentabiliteit van de mijnbouw.

Conophagos geeft bij zijn reconstructie van het produktieproces een berekening van de hoeveelheid menselijke arbeid, die voor de afzonderlijke produktiestappen nodig waren, en geeft daarbij ook een schatting van de kosten per produktiestap. Vooral de constructie van de schachten en mijngangen was zeer arbeidsintensief; daardoor werd ongeveer 40 % van de menselijke arbeid besteed aan de delfstofontginning. Hiernaast was ongeveer 20 % nodig voor de mineraalscheiding. Het overige deel van de menselijke arbeid bestond uit de begeleiding van de ovenprocessen, de constructie en het onderhoud van de bovengrondse installaties en het transport van materialen. Bijna de helft van de zilverbrenngst was nodig om de slaven in hun levensonderhoud te voorzien. In de produktie van 17,2 g zilver voor het slaan van een Atheense tetradrachme bijvoorbeeld, werd ruim drie dagen aan menselijke arbeid geïnvesteerd. De onderhoudskosten van een slaaf voor drie dagen lagen tussen 1,5 en 2 drachme. De mijnen moeten in de periode tussen 480 en 430 v. Chr. meer dan 10.000 slaven in dienst gehad hebben om het hoge produktieniveau van 20 ton zilver per jaar te kunnen halen.

## Bedrijfsvoering

De mijnen werden in de vijfde en de vierde eeuw geëxploiteerd door particuliere ondernemers, die mijnconcessies van de staat pachtten. De inkomsten van de ondernemers bestonden uit het geproduceerde zilver en de verkoop van bijprodukten zoals lood en mineralen, die als kleurstoffen en medicamenten gebruikt konden worden. Een groot gedeelte van de inkomsten moest besteed worden aan het levensonderhoud van de mijnwerkers, aan de aanschaf van nieuwe slaven om zieke en oude mijnwerkers te vervangen, aan de aankoop van grondstoffen en hulpmiddelen zoals houtskool, trachiet en gereedschap en aan de pachtsommen voor de mijnconcessies. De ondernemers konden een grote winst maken maar droegen ook een aanzienlijk bedrijfsrisico. Zij waren genoodzaakt om het grootste deel van hun bedrijfsvermogen in slaven te investeren en zij konden deze slaven gemakkelijk door besmettelijke ziekten en door oorlogshandelingen verliezen. Hiernaast waren de onkosten afhankelijk van de hoeveelheden

delfstoffen en te verwerken tussenprodukten, terwijl de opbrengsten hoofdzakelijk door de hoeveelheden geproduceerd zilver bepaald werden. De winsten hingen daardoor af van het zilvergehalte van het erts en dit zilvergehalte verschilde sterk voor de afzonderlijke ertsgangen. Het werkloos afkomstig uit het erts kon tussen 0,1 en 0,4 % zilver bevatten. Vele ondernemers hebben verliezen geleden door moeilijkheden met de slaven en door een laag zilvergehalte van de erts.

## Arbeidsomstandigheden

Het werk in de mijnbouw was gevaarlijk en ongezond. Steenhouwers en arbeiders die het erts voor de mineraalscheiding vergruisden, ademden stofdeeltjes uit het gesteente in en konden daardoor de gevreesde mijnwerkersziekte silicose of stoflongen krijgen. Langdurige loodvergiftiging door dampen uit de metallurgieovens kan tot aantasting van de gewrichten leiden. De werkomstandigheden waren ongunstig, maar de slaven hadden geen keus. Als zij eenmaal door een mijnondernemer gekocht waren, moesten zij de rest van hun leven in de mijnen doorbrengen. De kans om door vrijlating of door vlucht aan de gedwongen tewerkstelling te ontkomen was heel klein. De mijnen werden vermoedelijk bewaakt en vluchtgevaarlijke slaven werden waarschijnlijk geketend. De mijnwerkers waren bovendien meestal buitenlanders, die niet in de Attische samenleving geïntegreerd waren. Zij konden buiten de mijnen gemakkelijk als vluchtende slaven herkend worden of in moeilijkheden raken, omdat zij de Griekse taal niet goed beheersten.

De behandeling van de slaven was afhankelijk van de bedrijfsvoering van een ondernemer of zijn opzichter, die op het maken van zoveel mogelijk winst gericht was. De slaven moesten ongetwijfeld hard werken en zullen weinig vrije tijd gehad hebben. Aan de andere kant waren de ondernemers voor de rentabiliteit ook afhankelijk van de ijver en de nauwgezetheid waarmee de slaven hun taken vervulden. Het werk bij de verschillende stappen van het productieproces eiste een grote mate van vakbekwaamheid. Het uithakken van schachten en ondergrondse gangen, het wassen van erts in stromend water, het beheersen van de metallurgische processen en het construeren van technische installaties waren werkzaamheden, waarvoor een opleiding nodig was. Vakbekwame slaven werden natuurlijk door de ondernemers en de opzichters gewaardeerd en zullen daarom goed behandeld zijn. Binnen de mijnbedrijven hadden de slaven de mogelijkheid om promotie te maken, doordat bepaalde kaderfuncties door slaven bezet konden worden.

Uit het gegeven, dat er in de vijfde en vierde eeuw geen slavenopstanden in Attica uitgebroken zijn, zou afgeleid kunnen worden, dat de Atheners hun slaven in het algemeen niet slecht behandeld hebben. Spanningen in de arbeidsverhoudingen hebben zich wel voorgedaan. Een groot aantal slaven zijn in 413 gevlucht, nadat de Spartanen de vestingsplaats Dekeleia in het noorden van Attica veroverden. Volgens Thucydides liepen bij deze gelegenheid 20.000 slaven naar de Spartanen over en was de massale slavenvlucht een gevoelige klap voor de economie van Athene, omdat vele slaven bekwaame handswerklieden waren. Onder de gevluchte slaven bevonden zich waarschijnlijk ook vele mijnwerkers.

## Zilver- en goudmijnen in het Egeïsche gebied buiten Attica

De machtsontplooiing van Athene in de vijfde eeuw speelde zich af tegen het decor van het gebied rond de Egeïsche Zee. Deze zee is rijk aan eilanden en kan daardoor gemakkelijk bevaren worden door lichte schepen, die bij slecht weer en 's nachts op een strand getrokken moeten worden. De bewoners van het gebied rond de Egeïsche Zee hadden contact met elkaar en daarom kan dit gebied als eenheid beschouwd worden. De Grieken vestigden vanaf de achtste eeuw kolonies langs de oostelijke en noordelijke kust van de zee en onderhielden handelsrelaties en diplomatieke

betrekkingen met de andere volken in het Egeïsche gebied. Het mijnbouwgebied op Attica stond over zee ook in verbinding met andere zilver- en goudmijnen voor de uitwisseling van vakkennis en werkrachten met ervaring in de mijnbouw. Ontwikkelingen waarbij de Attische zilvermijnen betrokken waren, werden beïnvloed door gebeurtenissen in naburige mijnbouwgebieden.

### Siphnos

Volgens Herodotus bereikte de zilver- en goudwinning op het Cycladeneiland Siphnos een hoogtepunt rond 525. Dit eiland ligt ongeveer 100 km ten zuidoosten van Kaap Sounion. De eilandbewoners besteedden 10 % van de mijnbouwopbrengsten aan de bouw van een fraai schathuis in Delphi, dat nog steeds een bezienswaardigheid is. De productie van edelmetaal op Siphnos had geen invloed op de machtsverhouding in de Griekse wereld en zal daarom niet erg omvangrijk geweest zijn. De mijnbouw op het eiland moest vermoedelijk gestaakt worden, nadat de belangrijkste ertsgangen bij een aardbeving onder de zeespiegel verdwenen.

### Lydië

Het koninkrijk Lydië in westelijk Anatolië groeide omstreeks 600 uit tot een machtige staat dankzij de winning van electrum, een natuurlijke legering van goud en zilver, uit het slib van een rivier bij de Lydische hoofdstad Sardes. Lydië werd in het midden van de zesde eeuw door het Perzische Rijk ingelijfd, waarna vanuit Sardes het gezag van de Perzische koning verder over het Egeïsche gebied werd uitgebreid.

Het electrum werd ondermeer gebruikt om munten te slaan. Deze munten waren niet erg geschikt voor het betalingsverkeer, omdat de samenstelling van het electrum niet constant was. De waarde van de munten hing af van het zilver- en goudgehalte, dat voor de afzonderlijke munten verschillend was. Bovendien kon bij de fabricage van de munten zilver aan het electrum toegevoegd worden, waardoor de waarde verlaagd werd. De Lydische koning liet vanaf ongeveer 575 in Sardes munten slaan, die van goud of van zilver gemaakt waren. Het goud en het zilver in electrum werden van elkaar gescheiden door het cementatieproces, waarbij de legering langdurig met keukenzout (NaCl) werd gesmolten. Het zilver vormt met het chloor uit het keukenzout bij hoge temperatuur zilverchloride. Goud wordt niet door het keukenzout aangetast. De productie van zilveren en gouden munten in Sardes werd onder het Perzische bewind voortgezet.

### Thracië

De Grieken betrokken een groot gedeelte van hun goud en zilver uit Thracië, dat ten noorden van de Egeïsche Zee lag. Herodotus heeft op het eiland Thasos voor de kust van Thracië mijnen bezocht, die door de Foeniciërs aangelegd waren. Direct aan de Thracische kust ten noordwesten van Thasos ligt het Pangaion-gebergte met ertsgangen, die arsenopyriet met kleine hoeveelheden goud en zilver bevatten. Het erts uit het Pangaion-gebergte werd in de Oudheid verwerkt door het arsenopyriet met lood te smelten, waarbij het goud en het zilver door het vloeibare lood gebonden werden. De edelmetalen konden daarna via het cupellatieproces van het lood gescheiden worden. Buiten het Pangaion-gebergte bevonden zich op vele plaatsen in het zuidelijk deel van Thracië ertsgangen met zilverhoudende galeniet en andere loodmineralen. Het zilver uit deze ertsgangen kon op dezelfde manier gewonnen worden als dit op Attica gedaan werd.

De Thracische mijnen werden in de zesde en vijfde eeuw geëxploiteerd door inheemse Thracische stammen en door Grieken, die kolonies in dit gebied hadden gesticht. Pisistratus bijvoorbeeld, die in de tweede helft van de zesde eeuw het bewind over Athene voerde, bezat mijnen in het Pangaion-gebergte, die via de rivier de Strymon bereikt konden worden. De omgeving van de Strymon was voor de Grieken erg belangrijk, omdat dit gebied naast zilver en goud ook timmerhout leverde, dat de Grieken voor de scheepsbouw nodig hadden. De Ionische Grieken in Anatolië kwamen omstreeks 500 v. Chr. tegen de Perzische koning in opstand naar aanleiding van een geschil om een kolonie aan de Strymon.



De Attische produktie nam in een periode van 10 à 20 jaar rond 480 zeer sterk toe. In dezelfde periode breidde Athene zijn macht uit ten koste van het Perzische Rijk. Deze twee ontwikkelingen waren nauw met elkaar verbonden.

Na de onderdrukking van de Ionische opstand in 492 versterkte de Perzische koning zijn gezag in Thracië met het doel, om vanuit dit gebied Griekenland aan te vallen en de Atheners te straffen voor hun steun aan de Ionische opstand. Hierdoor moesten Atheners, die zich in Thracië gevestigd hadden en daar ondermeer mijnen exploiteerden, naar hun vaderland terugkeren. Volgens Aristoteles was de plotselinge stijging van de Attische zilverproduktie in 483 v. Chr. te danken aan de ontdekking van rijke ertsgangen bij de huidige plaats Kamariza ten westen van Lavrion. Het is mogelijk, dat deze voorkomens ontdekt zijn door repatrianten uit Thracië met ervaring in de mijnbouw en dat de zilverproduktie in een korte tijd sterk kon stijgen, omdat deze repatrianten vakbekwame mijnwerkers uit Thracië hadden meegenomen. Deze verklaring voor de produktiestijging wordt ondersteund door het feit, dat een aantal geografische namen in het Attische mijnbouwgebied van Thracische oorsprong zijn. Kamariza heette in de Oudheid Maroneia, en droeg dezelfde naam als een plaats op de kust van Thracië. Besa, een antieke plaats in de buurt van Kamariza, werd waarschijnlijk genoemd naar een Thracische stam in het Pangaion-gebergte, die de naam had vakbekwame mijnwerkers te leveren.

Na de Perzische nederlaag in 480 keerden de Atheners naar Thracië terug en hebben daar opnieuw mijnen geëxploiteerd. De Atheense bevelhebber Cimon veroverde in 475 de stad Eion bij de monding van de Strymon op een Perzisch garnizoen en tussen 465 en 462 de bezittingen van het eiland Thasos op het Thracische vasteland, die hoofdzakelijk uit mijnen bestonden. Volgens Herodotus ontving Thasos jaarlijks een bedrag tussen de 200 en 300 talenten uit deze bezittingen, waarvan 80 talenten door de goudmijnen van Skapte Hyle werden opgeleverd. (Skapte Hyle lag in het kustgebied ten oosten van het Pangaion-gebergte, ongeveer recht tegenover Thasos). Athene stichtte in de loop van de vijfde eeuw een kolonie met de naam Amphipolis op een strategische plaats aan de Strymon.

In het midden van de vierde eeuw veroverde koning Philippus II van Macedonië de goud- en zilvermijnen van Thracië, wat verstrekkende gevolgen had. De Thracische mijnen hebben bij de opkomst van Macedonië ongeveer dezelfde rol gespeeld als de Attische mijnen bij de machtsontplooiing van Athene in de vijfde eeuw. In beide gevallen werd de produktie van edelmetaal gebruikt om de politieke invloed in het Egeïsche gebied te vergroten en in beide gevallen was het machtstreven in de eerste plaats gericht tegen de dreiging van het Perzische Rijk. Athene was in staat om het Egeïsche gebied in de vijfde eeuw tegen het Perzische Rijk te verdedigen. Alexander de Grote heeft als koning van Macedonië in de tweede helft van de vierde eeuw het Perzische Rijk aan zich onderworpen.

Het koninkrijk Macedonië, dat Attica in 267 v. Chr. annexeerde, werd in het begin van de tweede eeuw geconfronteerd met de machtsuitbreiding van het Romeinse Rijk. De Romeinen verdreven in 205 Carthago uit Spanje en gebruikten daarna op hun beurt het goud en het zilver uit de Spaanse mijnen om hun invloed in de landen rond het oostelijk deel van de Middellandse Zee te vergroten. Macedonië en Griekenland waren de eerste slachtoffers van deze expansiedrift en werden in het midden van de tweede eeuw door het Romeinse Rijk ingelijfd.

## Mijnbouw- en metallurgische techniek

De chemische en de fysische produktieprocessen, waarmee de Grieken in de Oudheid zilver uit erts met een laag zilveragehalte wonnen, wijken op de hoofdpunten niet veel af van de produktie-

processen, die tot in de vorige eeuw gebruikt werden om hetzelfde soort erts te verwerken. De technologische ontwikkeling bestond door de eeuwen heen voornamelijk uit verbeteringen van de technische installaties voor de afzonderlijke produktiestappen. Wel werd bijvoorbeeld een afzonderlijke produktiestap voor het roosten van sulfidische erts ingevoerd.

Vanaf de tweede helft van de 18<sup>e</sup> eeuw zijn er echter nieuwe produktieprocessen, die op een beter inzicht in scheikundige reacties en materiaaleigenschappen gebaseerd zijn, in de metallurgie ingevoerd. Mineraalscheiding van sulfidische erts wordt momenteel uitgevoerd met moderne ertswastechnieken, waarbij van chemische oppervlakte-eigenschappen van de mineralen gebruik wordt gemaakt. Het cupellatie- of afdrijfproces voor de winning van zilver uit werklood werd in de vorige eeuw vervangen door nieuwe processen, waarbij het werklood niet tot litharge geoxideerd hoeft te worden. Cupellatie wordt tegenwoordig nog wel toegepast om het goud- en zilveragehalte van mineralen en legeringen te bepalen.

De zilverwinning in Attica wordt in de eerste plaats gekarakteriseerd door de eenvoudige technische hulpmiddelen, die gebruikt werden, en verder door de grote vakbekwaamheid waarmee de processen werden beheerst. De Grieken pasten nog geen apparaten toe om grondwater uit mijngangen te pompen en om bepaalde handelingen machinaal door waterkracht of dierlijke spierkracht te laten uitvoeren. In de loop van de Romeinse tijd en de Middel-euwen werden allerlei ingenieuze installaties ontwikkeld voor de beheersing van het grondwater, de vergruizing van erts, de aandrijving van blaasbalgen enzovoorts. Deze installaties waren een verbetering voor de bedrijfszekerheid en maakten de produktie van metalen en andere grondstoffen minder arbeidsintensief. Bij het produktieproces uit de vijfde en de vierde eeuw v. Chr. werd alles nog letterlijk met de hand gedaan. De mijnwerkers op Attica wonnen het zilver uit het erts met hun eigen spierkracht.

## LITERATUUR

- G. Agricola: *De Re Metallica*; Dover Publications, Nw York, 1950; Engelse vertaling met commentaar door H.C. en L.H. Hoover.
- Aristoteles: *The Athenian constitution*; Penguin Books, London, 1984; Engelse vertaling door P.J. Rhodes.
- C.E. Conophagos: *Le Laurium antique et la technique Grecque de la production de l'argent*; Ekdotike Hellados, Athene, 1980.
- J. Ebert et al.: *Die Arbeitswelt der Antike*; Koehler und Amelang, Leipzig, 1983.
- N.H. Gale en Z. Stos-Gale: *Lead and silver in the ancient Aegean*; *Scientific American*, June 1981 (vol. 244, no. 6).
- J.F. Healy: *Mining and metallurgy in the Greek and Roman world*; Thames and Hudson, London, 1978.
- Herodotus: *Historiën*; Fibula-van Dishoeck, Bussum, 1968. Nederlandse vertaling door O. Damsté.
- H. Kalcyk: *Untersuchungen zum attischen Silberbergbau, Gebietsstruktur, Geschichte und Technik*; Verlag Peter Lang G.m.b.H., Frankfurt a. M., 1982.
- H. Moesta: *Erze und Metalle, ihre Kulturgeschichte im Experiment*; Springer Verlag, Berlin, 1983.
- H.F. Mussche: *Thorikos, a guide to the excavations*; Comité voor Belgische opgravingen in Griekenland, Brussel, 1974.
- Thucydides: *History of the Peloponnesian War*; Penguin Books, London, 1954; Engelse vertaling door R. Warner.
- R.F. Tylecote: *Metallurgy in Archaeology*; Edward Arnold Ltd., London, 1962.
- B.M. Rebrik: *Geologie und Bergbau in der Antike*; DDR, 1987.

\*) In de omgeving van Korinthe zijn een groot aantal aardewerken tegels uit de zesde eeuw v. Chr. gevonden, die tot de inventaris van een Poseidontempel hebben behoord. Een aantal tegels draagt afbeeldingen van mannen en kinderen, die voor de Korinthische aardewerkindustrie in kleigroeven werkten. Deze afbeeldingen worden ten onrechte nogal eens als scènes uit de Attische zilvermijnbouw voorgesteld. (G. Weisgerber: "Zu den Bergbau-Darstellungen der korinthischen Tontafelchen", *Der Anschnitt* 28 (1976), nr. 2).