

Di

ADI

1956, jrg 10, nr 1

TECHNIEK IN DE OUDHEID

DOOR J. A. TROS

OPKOMST EN ONTWIKKELING
VAN DE
METALLURGIE (V)

★

In de voorgaande artikelen, welke onder het opschrift „Techniek in de Oudheid” in dit blad verschenen, is er op gewezen, dat men reeds in een zeer ver verleden bekend was met het brons, een alliage van koper en tin. Aan het tin en aan de geschiedenis van dit metaal werd slechts terloops enige aandacht geschonken. In dit artikel wordt het tin in het middelpunt van de belangstelling geplaatst.

Wat verstaan wij onder tin?

Tin, stannum (Sn) is een element met een uitgesproken metallisch karakter. Het is een zilverwit, sterk glanzend metaal met een grof-kristallijne structuur, wat zich kenmerkt door het bekende knarsende geluid (het schreien of schreeuwen) dat zich bij het heen en weer buigen van een staaf tin laat horen.

Het metaal heeft bij 18° C. een soortelijk gewicht van 7.28, bij 20° C. een s.g. van 7.32 en in vloeibare toestand, bij een temperatuur van 250° een s.g. van 6.98. Het smeltpunt ligt bij 231,8° C, de verdamping van enige betekenis begint reeds bij 1200° C, terwijl het kookpunt bij 2270° C ligt.

De rek is bijzonder groot en het laat zich dan ook uitwalsen tot zeer dunne bladen met een dikte van 0.002 mm. De rek is bij 100° C het grootst, neemt bij stijgende temperatuur weer af en is bij 200° C geheel verdwenen; het metaal is dan zo bros, dat het zich gemakkelijk laat verpoelieren. Door het te hameren neemt de hardheid van het tin iets toe. De vastheid is gering en is voor getrokken draad 2.5 kg/mm². Boven 100° C is tin trekbaar.

Het tin is een belangrijk element, doch de betekenis van dit metaal is minder gelegen in het gebruik van het zuivere metaal op zichzelf, dan wel in de grote waarde van dit materiaal bij het samenstellen van verschillende belangrijke en nuttige alliegates en voor het vertinnen van metalen voorwerpen, vooral blik.

Tinpest

Het gewone witte tin vertoont bij lage temperatuur neiging om van wit tin over te gaan tot grauw tin. Dit wil zeggen, dat het de vaste vorm verliest en zich gaat omzetten tot een grauw, onsamenhangend poeder. Deze omzetting is nauwelijks merkbaar. Het proces verloopt minder langzaam naarmate de temperatuur hoger wordt. Dit verschijnsel heeft men, in verband met het besmettelijk karakter ervan, de naam gegeven van museumziekte of tinpest. Het proces wordt namelijk ingeleid met iets dat de verandering inzet, b.v. een korreltje grauw tin of een electroliet. Bij lage temperatuur ontstaan dan om zo'n entplaats heen puisten van



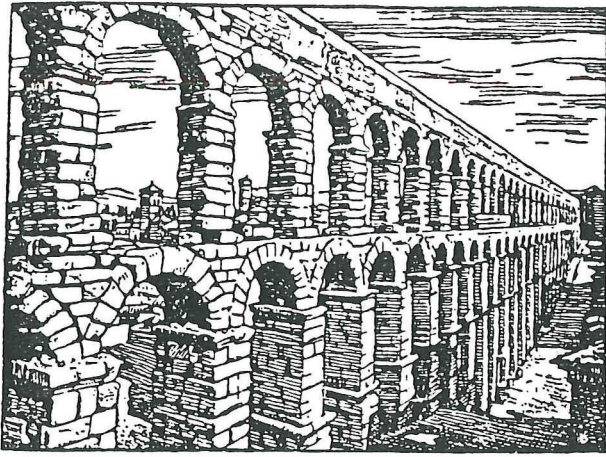
(Cliché Billiton Mij.)

Verkleinde reproductie van een tekening over de alluviale tinertswinning

het poedervormige metaal. Kleine hoeveelheden bismuth of antimoon (0.5 %) verhinderen het omzettingsproces, terwijl aluminium en zink het bevorderen. Het overgangspunt, waarbij de omzetting van wit tin in grauw tin begint, ligt bij 13° C (wordt echter ook wel aangegeven als liggende bij 20° C en 18° C), terwijl bij -45° C tot -50° C het proces het snelst verloopt, ook nog langzaam, doch merkbaar. Het s.g. van het grauwe tin is 5.85 tegen 7.28 van het witte tin, dus een volumevermeerdering van ± 32 %, wat buitengewoon veel is. Het grauwe tin kan door omsmelten weer in de vorm van wit tin teruggebracht worden.

Oorsprong van het erts

Dank zij een diepgaande studie der algemene en historische geologie, kunnen wij de vorming van de aardkorst over een tijdperk van 1600 miljoen jaren volgen en is de mens in staat zich een uitgebreide kennis te verwerven over de samenstelling van deze aardkorst. Op grond van deze studie is men tot het inzicht gekomen, dat de primaire bron van alle mineralen, dus ook van alle ertsen, het magma is. Volgens seismografische gegevens is de dikte van de aardkorst geschat op gemiddeld 60 kilometer. Ten opzichte van de straal der aarde, welke 6378 kilometer bedraagt, is deze aardkorst betrekkelijk dun en slechts 1 % van de lengte der straal. Onder deze aardkorst ligt een magma-zone. Het



Waterleiding der Romeinen in Segovia (Spanje) ten behoeve van de tinertswinning

magma komt af en toe, en op verschillende plaatsen, als een gloeiende, vloeibare massa voor en dringt onder hoge druk in de aardkorst, waar dan magma-haarden worden gevormd. Deze druk kan zo hoog worden, dat het magma zich een weg baant, door de aardkorst heen naar buiten, welk verschijnsel wij kennen als vulkanische uitbarstingen. Het magma levert bij stolling primaire mineraal-associaties, welke stollingsgesteenten worden genoemd. Uit dit stollingsgesteente kunnen door chemisch-fysische invloeden, andere mineraal-associaties worden afgeleid. Ook invloeden van buitenaf, b.v. verwering, kunnen nieuwe kristallisatieprocessen inleiden.

De bron van alle elementen is het magma en de primaire stollingsproducten van het magma betekenen de concentratie van bepaalde elementen, als gevolg van elektrische en andere krachten. Welke mineralen worden geconcentreerd is mede afhankelijk van de samenstelling van het magma en van de druk en temperatuur, waarbij het stollingsproces plaats vindt.

Door verschuiving en plooiing van de aardkorst, als gevolg van vulkanische werkingen en krimpspanningen, komt o.a. het tinsteenhoudende dieptegesteente, het graniet, aan de oppervlakte.

Het kassiteriet of tinsteen (SnO_2) komt voor in twee verschillende vormen, als bergtin in aderen door het graniet of granietachtig gesteente, welke aderen hoofdzakelijk quartz bevatten, waar het tinsteen is ingebed en ook wel in spleten of verspreid door het gesteente als kleine kristallen.

Waar het kassiteriet-houdende gesteente aan de oppervlakte kwam, verweer-

de en verbrokkelde het. Het puin, inclusief het tinsteen, werd door het water meegevoerd en het zwaardere tinsteen onderweg als bezinksel gedeponeerd in de vorm van stroomtin of alluviaal tin; sterk verontreinigd met zand en klei. Alle tinvelden bevinden zich steeds in de nabijheid van granietgesteenten. Hoewel het tin op betrekkelijk weinig plaatsen voorkomt, wordt het daar dan meestal aangetroffen in grote hoeveelheden. Het is echter niet zo, dat daar waar granietgesteente wordt aangetroffen ook steeds tinsteen aanwezig is.

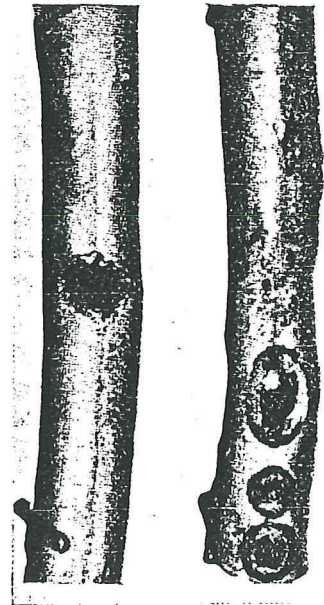
Ofschoon zuiver kassiteriet 78,76 % tin bevat is het bergtinerts sterk vermengd met het quartz-matrix waarin het tin tot stand kwam. Het ruwe materiaal bevat slechts 0.2 tot 2.0 % tin. Bij stroomtinerts kan dit percentage plaatselijk belangrijk hoger liggen; door de natuurlijke wassing is een groot deel van het voor de tinwinning waarde-loze, begeleidende materiaal reeds weggespoeld.

Tin in de oudheid

Ook in de Oudheid kwam het zuivere tin, als metaal op zichzelf, niet in de eerste plaats in aanmerking, daar het zich niet leende voor het vervaardigen van werktuigen en wapens. Dit metaal moest ten behoeve van de oude Egyptische, Griekse en Romeinse beschavingen centra uit andere landen worden betrokken. Vondsten van zuiver tin, dateren uit het late bronstijdperk en hebben aangetoond, dat het gebruik daarvan beperkt bleef tot eenvoudig ornamentwerk, enkele huishoudelijke artikelen en het vertinnen van bronzen en koperen voorwerpen. Het tin kwam

in de eerste plaats in aanmerking voor het vervaardigen van alliage's, vooral van het brons. Te beginnen met het bronstijdperk heeft het tin dan ook een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van de metallurgie.

De Chinezen moeten reeds enige duizenden jaren voor Chr. een uitgebreid gebruik van tin hebben gemaakt, want het staat vast, dat reeds in 1300—1500 v. Chr. in China een bloeiende bronsindustrie bestond. Ook uit de Chinese geschiedenis blijkt, dat men in dit land vanaf de vroegste tijden met het tin bekend was. Als vindplaatsen worden aangegeven de provincie Yunan, een district in Midden-China. De Chinezen moeten in die tijd reeds vele gebruiksvoorwerpen uit tin hebben gegoten en zelfs huishoudelijke artikelen hebben vertind. Het grootste gedeelte van het benodigde tin betrokken de Chinezen uit de aangeslibde gronden in Achter-Indië, uit het land genaamd Man-li-kia, het tegenwoordige Malakka, waar tin werd gewonnen uit het zand der bergrivieren en van daaruit, in de vorm van blokken, in de handel werd gebracht.



Tinpest

De Chinese alchimisten beschouwden het tin als voortgebracht door het vrouwelijk element in de schepping, vanwege de zachte eigenschappen van dit metaal en zij classificeerden het tussen lood en zilver. Volgens hen bracht het arseen zichzelf voort in 200 jaar, ter-

Keizerrijk, doch weder hervat, nadat de Spaanse mijnen waren uitgeput en de Romeinen doordrongen tot de tinvelden van Cornwall en goede wegen aanlegden voor de handelskaravanen. Ook de velden in Centraal Germania (Vogtland, Fichtelgebirge, Ertsgebirge en Böhmerwald) hebben een rol gespeeld in de ontwikkeling van de vroege bronsindustrie. Ongetwijfeld heeft de tinwinning aldaar er toe bijgedragen te voorzien in de behoefte van tin van het Nabije Oosten in de Oudheid.

Hoe werd het tin verkregen?

Gedegen tin komt zelden voor en dan nog alleen maar in zulke geringe hoeveelheden, dat het voor de productie van tin geen betekenis heeft. Ook in de Oudheid werd het tinsteen hoofdzakelijk verkregen uit alluviale afzettingen, daar het hier als het ware voor het grijpen lag. Het bergtin was veel moeilijker vrij te maken.

Een belangrijke factor in de geschiedenis van de tinwinning is het feit, dat op sommige plaatsen als b.v. in Cornwall, Bohemië en China het kopererts en het tinerts zo dicht in elkaars nabijheid wordt gevonden, dat de mijnwerkers een mengerts wonnen waaruit brons werd gesmolten, dat men als een beter soort koper leerde kennen en waarderden. Verder is het mogelijk, dat daar waar beide ertsen afzonderlijk voorkwamen, doch niet te ver van elkaar verwijderd, men de ertsen doelbewust heeft vermengd voor het produceren van brons, omdat men het kassiteriet had leren kennen als een metallische component voor het vervaardigen van de gewenste alliage, of tenminste als een erts, nuttig voor dat doel. In elk geval was het brons eerder bekend. Pas later heeft men tin als een metaal op zichzelf gewonnen.

Over de oudste methoden, betreffende het winnen van tinerts en het produceren van tin, is zo goed als niets bekend. Aangenomen wordt, dat dezelfde werkwijze werd gevolgd, als die bij het winnen van goud. Het goud werd eerder geproduceerd dan het tin, terwijl bovendien het tinsteen werd aangetroffen in dezelfde velden waar het goud werd gewassen. Daarna werd ook voor het eerst tin, doelbewust en om zichzelf gewonnen. Met behulp van stromend water werd het zwaardere tinsteen bevrijd van het begeleidende gesteente en zo gemaakt tot een lonend concentraat.

Al naar gelang de samenstelling van het erts werd het dadelijk gesmolten of het onderging een voorbereiding.

Door roosten werd het erts van zwavel en arseen ontdaan en daarna met koolstof gereduceerd. Het werd gesmolten in open kuilen, waarvan de wanden met leem werden bestreken. In deze kuilen wierp men rijshout. Hierop werd een houtmijt gebouwd en het geheel aangestoken. Wanneer de kuil was gevuld met gloeiende as, wierp men daarop van tijd tot tijd kleine hoeveelheden tinsteen. Hout en erts werden nu afwisselend opgeworpen en dat herhaalde men zo lang, tot zich in de kuil een voldoende hoeveelheid gesmolten tin had verzameld. Tenslotte liet men het vuur neerbranden, verwijderde de op het metaal drijvende as en schepte het gesmolten metaal in een kleinere kuil of in kleivormen, opgesteld in de omgeving van de vuurhaard. Later maakte men de kuilen dieper om een groter nuttig effect van de warmte te krijgen. Daarna maakte men de vuurhaard aan een steile wand en werd de lucht door trekpaten, even boven de bodem van de kuil, toegevoerd door de natuurlijke trek. Tenslotte bracht men een aftapgat aan tussen de bodem van de vuurhaard en de trekpaten, waardoor men het gesmolten metaal kon afvoeren, zonder het proces te onderbreken. Een grote verbetering was het aanvoeren van lucht met behulp van een blaasbalg, waardoor de temperatuur belangrijk kon worden opgevoerd. Nog weer later bouwde men een kleine ronde leemoven met toepassing van de opgedane ervaringen en daaruit ontwikkelde zich geleidelijk de kleine schachtoven voor het smelten van tin, waarin tin werd gewonnen door het erts te samen met houtskool te verhitten. De hierbij optredende verliezen waren groot.

Het is niet gemakkelijk, zo niet onmogelijk, zich aan de hand van de beschikbare gegevens een volledig beeld te vormen van de geschiedenis en de betekenis van de metallurgie in de oudheid. Het is ook niet de bedoeling om er in artikelen als deze dieper op in te gaan. Wanneer de belangstellende lezer meer van het onderwerp wil weten staat hem een uitgebreide literatuur ter beschikking. Bij het maken van een keuze en het aanvragen der boeken verleent de bibliothecaresse van de H.M.B. gaarne haar bemiddeling. Ook de medewerkers van de Gemeentebibliotheek te Arnhem verlenen koste-

loos hun medewerking voor wat betreft het geven van inlichtingen en het uitlezen van boeken. Van beide mogelijkheden is bij het schrijven van deze artikelen een dankbaar gebruik gemaakt en zal dit ook in de toekomst gaarne worden gedaan.



VEILIGHEIDSWERK

A11 - 80

Dat is werkelijk geen gemakkelijke opgave, maar dat mag geen reden zijn om deze raadgeving in de wind te slaan. Ongetwijfeld zult U het er mee eens zijn, dat er werkelijk iets moet worden gedaan. In 1954 zijn er namelijk reeds meer dan 500.000 ongevallen gebeurd, meer dan vijf honderd duizend dus!

Uit de verzamelde gegevens blijkt, dat ruim 75 % van de ongevalsorzaken te wijten zijn aan menselijke tekortkomingen. Dit kunnen o.a. zijn: vergissingen, onachtzaamheid, niet met de gedachte bij het werk zijn, het beter willen weten dan de voorschriften of instructies, gebrek aan voldoende instructie tegenzin in het gebruik van beveiligingen, graag „flink” willen doen tegenover collega's en daardoor onnodige risico's lopen, gebrek aan vakbekwaamheid.

Aan al deze oorzaken kunnen we zelf wat doen door na te denken bij ons werk.

Als ieder van ons dit het gehele jaar volhoudt, dan zal aan het einde van 1956 het ongevallencijfer ongetwijfeld lager zijn!

TECHNIEK IN DE OUDHEID

door J. A. Tros

De ontwikkeling van de smeltoven

In de metallurgie speelt het smeltproces, bij het winnen van metalen uit delfstoffen, een grote rol. Vooral in de oudheid was dit vrijwel de enige methode om de verschillende metalen uit hun erts vrij te maken.

De grote moeilijkheden welke in het allereerste begin overwonnen moesten worden, waren het lokaliseren van het vuur, het zo hoog mogelijk opvoeren van de temperatuur en het opvangen en bijeenhouden van het gewonnen metaal.

De smelthaarden welke het eerst werden gebruikt waren niet meer dan een simpele kuil in de grond, waarboven en waarin een vuur werd onderhouden, terwijl het gesmolten metaal zich op de bodem verzamelde.

Zo lang men slechts de beschikking had over deze kleine smelthaarden en men niet in staat was de temperatuur tot de vereiste hoogte op te voeren omdat men alleen was aangewezen op de natuurlijke trek, bleven de resultaten kwantitatief en kwalitatief zeer gering. Bovendien kon op deze wijze slechts een laag percentage van het metaal uit het erts worden vrijgemaakt. De moeilijkheden namen toe, toen men het ijzer leerde kennen en waarden en de vraag naar dit metaal geleidelijk toenam. Ook voor het smelten van ijzer was men aanvankelijk aangewezen op de open vuurkuil of smeltgroeve. Op deze wijze produceerde men telkens slechts kleine hoeveelheden metaal, sterk verontreinigd met slak en van zeer ongelijke samenstelling, mede als gevolg van een ongelijkmatige en onvoldoende hoge temperatuur, welk metaal zich als een deegachtige klomp op de bodem van de haard afzette, de z.g. wolf.

Door uitsluitend zuivere erts te verwerken en als brandstof alleen houtskool te gebruiken, werd het smeltproces gunstig beïnvloed, doch het resultaat bleef gering.

Fig. 1 laat een afbeelding zien van een doorsnede van een smeltgroeve, zoals deze werden blootgelegd in de omgeving van Wallendorf in Duitsland. Vierentwintig van deze renhaarden lagen hier in meerdere rijen en wel met een onderlinge afstand van 1,5 meter bij elkaar. De donker gekleurde aardlaag geeft de oorspronkelijke toestand aan; de bovenkant van de kuil lag gelijk met de werkvloer.

Wanneer de ertslaag in de omgeving was uitgeput, of wanneer geen voldoende hout meer beschikbaar was voor het branden van houtskool, werd het bedrijf eenvoudig verplaatst en liet men het terrein achter zoals het was. De natuur hernam dan haar rechten, geleidelijk vulde zij de kuilen en bedekte met een nieuwe aardlaag deze resten van een primitieve cultuur. De smeltvuren werden ook wel paarsgewijze gebruikt, de ene voor het roosten, en de andere voor het smelten van het erts.

Fig. 2 geeft een afbeelding van een oud-egyptisch smeltvuur. Deze afbeelding werd gevonden in een graf te Theben, uit de tijd van 1600 v. Chr. De smelthaard bestond uit een kleine kuil in de grond, welke met houtskool en erts werd gevuld. De aangevoerde verbrandingslucht werd geleverd door twee lederen blaasbalgen, welke in een raam waren bevestigd. Zij werden aan een riem, met de hand, omhoog getrokken en met de voet neergedrukt. De windleiding mondde uit in uit klei gevormde buizen. Tussen deze blaasbalgrappers ontwaren we de smeltmeester en op de achtergrond een hoop erts en een korf met houtskool.

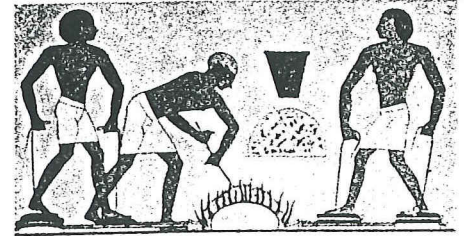


Fig. 2

Van begin af aan heeft men er naar gestreefd de smelthaard te verbeteren. De eerst zeer ondiepe, halfronde kuil, werd dieper gemaakt, om meer profijt te trekken van het vuur, dat nu beter beschermd en gelokaliseerd was. Later bereikte men dit op een betere wijze, door langs de bovenrand van de kuil een laag muurtje op te trekken. Ook bekleedde men de wand van de kuil met leem, wat de levensduur van het smeltapparaat bevorderde en het product verbeterde, daar dit nu niet meer met kuilzand werd verontreinigd. Waar mogelijk, bouwde men de smelthaarden op de windzijde van een helling waar zij in de heuvelwand werden uitgestoken. Daardoor was het mogelijk trek-gaten aan te brengen boven de slakkenlijn, een aftapgat voor de slak en onder in de haard een afloopopening voor het verwijderen van de „wolf”, wanneer ijzer werd geproduceerd.

Geleidelijk bouwde men het muurtje om de kuilrand hoger en ontwikkelde men de schachtoven, waarbij de bodem van de kuil boven de werkvloer kwam te liggen. Bij deze ovens kan men, ook op vlak terrein, het gewonnen metaal gemakkelijk afvoeren en de slak beter laten afvloeien. Ook het aanvoeren van de verbrandingslucht kan eenvoudiger plaatsvinden. Hoewel vanaf de vroegste tijden in verschillende landen en bij ver van elkander levende volken, bij de winning van metalen, reeds schachtovens werden toegepast, hebben de smeltvuren zich tot in de 19de eeuw kunnen handhaven. Ook de oudste schachtovens waren op natuurlijke trek aangewezen.

Fig. 3 geeft een afbeelding van een voor-historische schachtoven. Deze

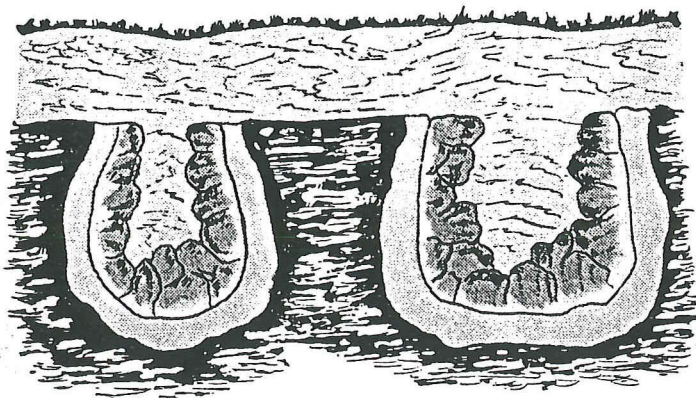


Fig. 1

werd in 1913 in de nabijheid van Sangerhausen in Duitsland, bij het diep-ploegen, gevonden. Er kwamen 170 scherven te voorschijn, welke zorgvuldig in elkaar werden gepast. Nader onderzoek bracht aan 't licht, dat het een z.g. Stückofen was, welke gebruikt werd bij het produceren van smeedijzer, een oven welke over de gehele aarde verspreid voorkwam. De vier openingen bij d en c dienden voor het aanvoeren van de verbrandingslucht. Bij b zien we een aftapopening voor de slak en bij a het aftapgat. Verder waren nog 6 hardgebrande leemprop-pen aanwezig om deze gaten af te sluiten. De oven was aan de bovenkant niet meer compleet. De koepelvormige afsluiting met vulopening is op de afbeelding niet te zien. Onder de opening voor de slakafvoer ziet men nog duidelijke sporen van afgedropen slak. De verschillende voor-historische en primitieve schachtovens vertonen in grote trekken eenzelfde konstruktie, doch de afmetingen en de produktie

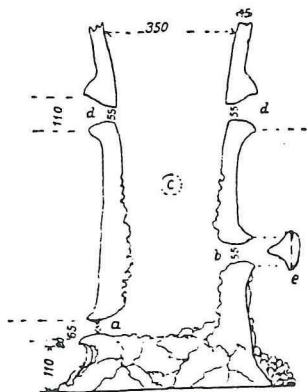
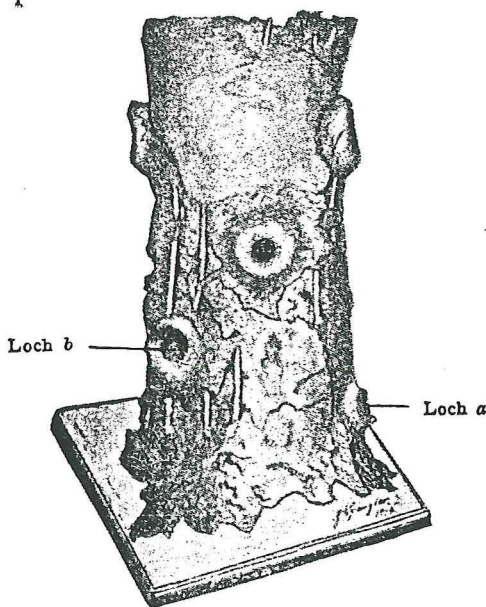


Fig. 3 Voor-historische schachtoven

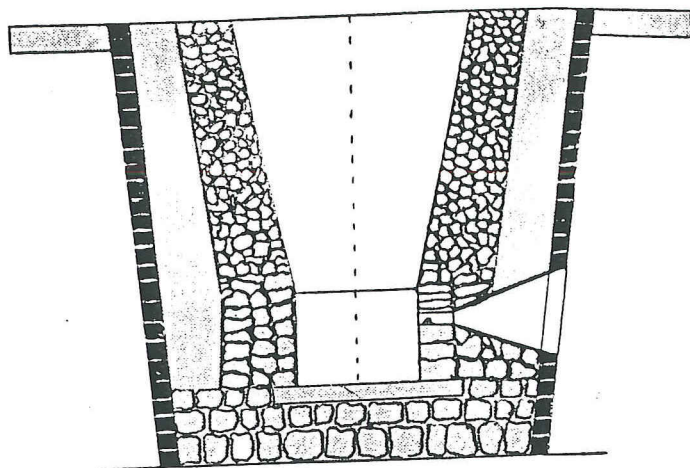


Fig. 4

lopen nog al eens uiteen en waren in elk geval gering.

De Romeinse schachtoven had een buikwand, welke was opgebouwd uit kwartsiet en een binnenwand welke uit leem was samengesteld. In de achterwand waren twee windvormige openingen aangebracht, terwijl in de voorwand een afsteekopening was gemaakt. Ook de Grieken maakten reeds gebruik van schachtovens, wat men aan de hand van tekeningen op voor-historische gebruiksvoorwerpen heeft kunnen vaststellen.

In Afrika werd een schachtoven gebruikt met een hoogte van $1\frac{1}{2}$ tot $1\frac{3}{4}$ meter uit leem vervaardigd. Het onderste en bovenste gedeelte van de schacht werd gevuld met houtskool. Het middelste gedeelte bevatte afwisselende houtskool en ertslagen. In de haard waren vier windvormen aangebracht en een met klei afgesloten aftapgat voor het afvoeren van slak.

In Bengalen had men de beschikking over een lage schachtoven, waar in een trog uitmondde om de oven gemakkelijk en regelmatig te kunnen vullen. In de haard was een grote opening aangebracht om het gereduceerde ijzer af te voeren. Deze opening was tijdens het smelten afgesloten met weke klei, waarin openingen werden gestoken voor het invoeren van de verbrandingslucht.

In Voor-Indië kwamen ovens voor met een hoogte van 2—4 voet en werd bij elke smelting 5 tot 6 pond ijzer geproduceerd. In ovens met eenzelfde hoogte en met een ronde doorsnede, welke onder 10 tot 15 inch, en boven 6 tot 12 inch was, kwam men wel tot 30 pond ijzer per smelting. Ook maakte men wel een kunstmatige kleidam, waarin kuilen werden aangebracht van 15 tot 18 inch diameter en $2\frac{1}{2}$ voet diep, welke als oven dienden. In zo'n oven konden in 16 arbeidsuren 12

ijzerklompen van 20 pond elk gewonnen worden. Voor de bediening waren 4 arbeiders en een meester nodig.

In de ovens welke aan heuvelranden werden gebouwd, met een inwendige hoogte van 6 tot 7 voet werd bij elke smeltperiode van 12 tot 16 uur een „wolf” geproduceerd van 150 tot 200 pond.

Al naar gelang men beschikte over blaasbalgen werd het vuur door middel daarvan aangewakkerd. De meeste ovens werkten met natuurlijke trek. Velen hebben zich tot in de laatste tijd nog kunnen handhaven in de achtergebleven gebieden.

In Europa ontwikkelden de smeltovens zich tot steeds groter afmetingen.

Fig. 4 geeft een afbeelding van een Zweedse boerenoven (Osmund-oven). De inblaaslucht werd door twee eenvoudige blaasbalgen aangevoerd. Met deze oven was het mogelijk 1500 kg ijzer per week te produceren.

Met deze „Stückofen” hebben we de voor-historische oven reeds eeuwen achter ons gelaten en een terugblik leert ons, dat de ontwikkeling zeer langzaam heeft plaats gevonden, en dat de bereikte resultaten betrekkelijk gering zijn gebleven.

Eerst in de 14e eeuw begon een merkbare verbetering in te treden, daar men leerde de waterkracht aan te wenden voor het aandrijven van blaasbalgen, die groter en beter werden konstrueerd. De ontwikkeling van blaaswindinrichtingen is een hoofdstuk op zichzelf.

Ondanks het toepassen van de waterkracht zou het nog lang duren, voordat zich de hoogoven geleidelijk ontwikkelde uit de Stückofen, een ontwikkeling, welke de moeite waard is in grote trekken te worden weergegeven.

J. A. Tros.