

dem Kupfer die größte Affinität zum Schwefel besitzt; ist sie geringer, so wird Kupfer als Metall ausgeschieden bzw. verschlackt. Um eine solche Verschlackung sicher zu vermeiden, läßt man stets noch so viel Schwefel im Röstgut (oder gibt, was auf dasselbe hinausläuft, beim Verschmelzen noch so viel Schwefel in Form von Roherz zu), daß er auch noch zur Bindung eines Teiles des in den Sulfiderzen ja stets vorhandenen Eisens ausreicht. Der so erzeugte Kupferstein enthält also neben Cu_2S auch noch FeS in mehr oder weniger großer Menge. Der Rest des Eisens geht dann beim Verschmelzen als Eisen-Sauerstoff-Verbindung (FeO) in die Schlacke und kann auf diese Weise leicht vom Kupfer getrennt werden.

Die „Steinarbeit“ zerfällt also normalerweise in die Röstarbeit und in die Schmelzarbeit, die beide auch nebeneinander oder gleichzeitig in demselben Apparat ausgeführt werden können (Pyritschmelzen, halbpyritisches Schmelzen, Knudsenprozeß, s. d.).

In ganz seltenen Fällen (z. B. Mansfelder Kupferschiefer) ist das Verhältnis Schwefel:Kupfer im Roherz schon derart, daß es genügt, die vorhandenen Sulfide ohne vorhergehende Abröstung einfach auszuschmelzen, um einen ausreichend konzentrierten Stein zu gewinnen.

Die Weiterverarbeitung des Kupfersteines auf metallisches Kupfer kann nach zwei verschiedenen Grundsätzen erfolgen: Durch einen Röstreduktionsprozeß (Totrösten mit anschließendem Reduzieren der gebildeten Kupferoxyde: „Deutsche Arbeit“) oder durch einen Röstreaktionsprozeß (teilweises Abrösten und anschließende Reaktion mit unveränderten Sulfiden: „Englische Arbeit“; oder gleichzeitiges Rösten und Reaktionsschmelzen: „Verblasen“ oder „Bessemern“). In allen diesen Fällen muß eine auf demselben Prinzip wie die Anreicherung des Kupfers im Stein beruhende Abscheidung noch vorhandenen Eisens durch dessen Oxydation und Verschlackung vorhergehen. Von den genannten Verfahren ist das Verblasen im Konverter oder Bessemern am wichtigsten und heute fast ausschließlich angewandt.

Die „Schwarzkupferarbeit“ zerfällt also wie die Steinarbeit in eine Röst- und eine Schmelzarbeit, die beide auch gleichzeitig nebeneinander ausgeführt werden können (Bessemern).

A. Die Steinarbeit.

I. Die Röstarbeit (engl. roasting).

Über die Vorgänge bei der Röstung der einzelnen Bestandteile eines Kupfererzes vgl. „Chemische Grundlagen“ S. 168 bis 175. Bei der komplexen Natur der meisten Erze ist es stets eine größere Anzahl von Reaktionen, die beim Erhitzen an der Luft nebeneinander verlaufen bzw. sich teilweise überdecken und gegenseitig beeinflussen. Allen gemeinsam ist jedoch die Tatsache, daß es sich — abgesehen von den Dissoziationsvorgängen und gewissen Reaktionen bei der Sinterröstung — bei den eigentlichen Oxydationsvorgängen um Reaktionen zwischen festen Körpern (den Sulfiden) und einem Gas (dem Sauerstoff der Luft) handelt. Dabei besteht ein prinzipieller Unterschied zwischen der Röstung von Erz und der von Stein nicht.

Sehen wir von der sekundären Bildung von Sulfaten und deren Wiedersetzung zunächst ab, so ist der Röstvorgang ein exothermer Oxydationsprozeß, der an der Berührungsfläche der Sulfide mit der Luft stattfindet. Je größer die Oberfläche der Beschickungsteilchen ist, d. h. je größer der Verteilungsgrad, um so vollständiger und rascher erfolgt diese Reaktion bei gleichzeitig ungehindertem Luftzutritt. Hieraus ergibt sich die Forderung weitgehender Zerkleinerung und der Schaffung günstiger Berührungsverhältnisse sowie der Vermeidung des Schmelzens der Beschickung. Umgekehrt kann man sagen: je größer das Korn, je behinderter der Luftzutritt, um so länger ist die Röstdauer bzw. um so schlechter ist bei gleicher Zeitdauer die Entschwefelung. Allerdings soll der Zerkleinerungsgrad nicht übermäßig weit getrieben werden, da sonst zu starke Staubbildung und bei manchen Ofenkonstruktionen Festbacken eintritt; dabei ist natürlich neben der Schaffung der erforderlichen Oberfläche auch für genügende Aufschließung etwa in Gangart eingeschlossener Sulfide zu sorgen.

Aus dem Umstand, daß es sich bei der Röstung um einen exothermen Prozeß handelt, ergibt sich ferner die Tatsache, daß es genügt, die Beschickung bis zum lebhaften Einsetzen des Prozesses¹⁾ zu erhitzen (die Temperatur des Oxydationsbeginnes genügt meistens nicht). Verläuft er rasch genug und sorgt man dafür, daß keine unnötige Abkühlung eintritt, so genügt bei ausreichender Luftzufuhr die frei werdende Wärmemenge, um die Entzündungstemperatur auch bei geringem Anfangsschwefelgehalt (untere Grenze ca. 8%) bzw. auch dann aufrechtzuerhalten, wenn der Schwefelgehalt gegen Ende des Prozesses stark abgenommen hat. Je geringer der Gehalt an Schwefel, um so rascher muß die Reaktion verlaufen, damit die erzeugte Wärmemenge bis zu Ende vorhält, d. h. um so ungehinderter muß die Luftzufuhr erfolgen, um so weiter gehend muß zerkleinert werden; und umgekehrt, je grobkörniger das Gut, je stärker der Luftzutritt behindert ist, um so höher muß der anfängliche Schwefelgehalt sein, will man den Prozeß ohne besondere Wärmezufuhr durchführen, bzw. um so rascher kommt er bei geringem Schwefelgehalt zum Stillstand, um so schlechter ist die Abröstung. — Unnötige Abkühlung kann erfolgen durch Ableitung der erzeugten Wärmemenge durch das Ofenmaterial (dieses muß daher die Wärme möglichst schlecht leiten), durch zu großen Überschuß an Verbrennungsluft (Vermeidung unnötig starken Zuges) und unter Umständen durch kalte Verbrennungsluft; diese braucht jedoch infolge der niedrigen Entzündungstemperatur des fast stets vorhandenen FeS_2 beim Abrösten von Kupfererzen im allgemeinen nicht vorgewärmt zu werden. Ferner wirkt in diesem Zusammenhang ein Feuchtigkeitsgehalt des Röstgutes und ein solcher von Carbonaten (Kalkstein) ungünstig, da zur Verdampfung des H_2O und Verjagung der CO_2 Wärme aufgewandt werden muß.

Da die Reaktion der Sulfidabröstung exotherm ist, könnte man ferner annehmen, sie werde bei Temperatursteigerung die Tendenz haben, in umgekehrter Richtung zu verlaufen, desgleichen bei Zunahme der SO_2 -Konzentration der Röstgase über eine gewisse Grenze hinaus. Eine Umkehrung der allgemeinen Röstgleichung $2 \text{MeS} + 3 \text{O}_2 = 2 \text{MeO} + 2 \text{SO}_2$ ist indessen bis jetzt nicht be-

¹⁾ Die „Entzündungstemperatur“.

obachtet worden¹⁾, d. h. es findet eine solche anscheinend erst bei so hohen Temperaturen statt, daß sie hier vernachlässigt werden kann. Es ist aus diesem Grunde also nicht notwendig, auf die Innehaltung niedriger Temperatur zu achten, vielmehr muß zum Zwecke der Totröstung mindestens die Zersetzungstemperatur des CuSO_4 (825°) erreicht werden. Trotzdem ist natürlich eine unnötige Steigerung darüber hinaus nicht erwünscht, und zwar nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch, um ein Schmelzen der Beschickung zu vermeiden, sei es, daß ein solches infolge Erreichens des Schmelzpunktes der Beschickung, sei es infolge Bildung leicht schmelzender Verbindungen (z. B. Silicate) eintritt. Übermäßige Steigerung der SO_2 -Konzentration (auf über 8 Vol. %) verbunden mit zu langsamem Abtransport der Röstgase, kann allerdings, wie jede Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Atmosphäre, zu einer abnormen Verzögerung des Röstprozesses führen, zumal bei starker SO_3 -Bildung unter dem Einfluß von Kontaktsubstanzen (Fe_2O_3), da diese günstige Bedingungen für die Bildung von Sulfaten schafft, deren Zersetzung außerdem Wärme absorbiert. In diesem Zusammenhang ist die Innehaltung einer hohen Rösttemperatur erwünscht, da die Dissoziation von SO_3 oberhalb 500° rasch ansteigt und so Sulfatbildung weitgehend vermieden werden kann.

Aus dem Gesagten ergeben sich folgende Forderungen für eine rasche und wirtschaftlich günstige Durchführung der oxydierenden Röstung.

1. Weitgehende Zerkleinerung der Beschickung, und zwar im allgemeinen um so weiter gehend, je schwefelärmer das Erz und je kupferärmer es ist, d. h. je mehr es aufgeschlossen werden muß. Der Zerkleinerungsgrad wird begrenzt: a) durch wirtschaftliche Erwägungen, da die Zerkleinerungskosten proportional der erzeugten Oberflächengröße wachsen; b) durch die zunehmende Verstäubungsgefahr; c) durch die Gefahr des Schmelzens der Beschickung infolge zu plötzlicher Oxydation und damit zu hoher Temperatursteigerung.

2. Intensive Zuführung der Oxydationsluft. Diese wird erreicht entweder a) durch flaches Ausbreiten der Beschickung im Ofen und ständigen Transport der unteren Teilchen an die Oberfläche unter gleichzeitigem Darüberleiten von Oxydationsluft (Fortschauler, mechanische Röstöfen, Trommelöfen); oder b) durch (freies oder behindertes) Herabfallenlassen der Beschickung entgegen einem Strom von Oxydationsluft (Röstschachtöfen für Feinerz, Schüttöfen); oder c) durch Hindurchpressen oder -saugen der Oxydationsluft durch die ruhende Erzschiicht (Sinterröstung).

3. Innehaltung einer Temperatur von mindestens 825° unter gleichzeitiger Vermeidung unnötiger Temperatursteigerung; wie hoch man gehen darf, hängt im wesentlichen von der Natur des Erzes und von dessen Verunreinigungen ab. So muß z. B. bei gleichzeitiger Anwesenheit von nennenswerten Mengen an Pb und SiO_2 zunächst bei niedrigerer Temperatur abgeröstet und darf erst nach Entfernung des Sulfidschwefels die zur Zerlegung der Sulfate erforderliche Temperatur erreicht werden.

¹⁾ Neuere Beobachtungen, nach denen eine solche Umkehrung bereits bei sehr niedrigen Temperaturen (75 bis 310°) erfolgen soll, erscheinen so unwahrscheinlich daß sie zunächst noch der Nachprüfung bedürfen.

4. Vermeidung eines übermäßigen Überschusses an Oxydationsluft sowie eines 8 Vol. % übersteigenden SO_2 -Gehaltes der Röstgase.

5. Flotter Abtransport der erzeugten Röstgase.

Beide Forderungen sind häufig schwer gleichzeitig zu erfüllen, nämlich dann, wenn die Oxydationsluft durch den im Ofen herrschenden Unterdruck angesaugt wird.

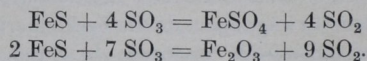
6. Vortrocknung der Beschickung.

7. Die Röstung soll nach Möglichkeit kontinuierlich sein.

Arsen und Antimon wirken stets schädlich und unangenehm, da bei der Abröstung neben flüchtigem Trioxyd (As_2O_3 und Sb_2O_3) auch die nicht flüchtigen höheren Oxydationsstufen (As_2O_5 und Sb_2O_5 , Sb_2O_4) entstehen, die beim nachfolgenden Verschmelzen zur Bildung von Arseniden, Speisen, führen.

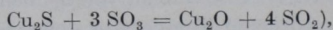
Die Vorgänge bei der Abröstung stückigen Materials.

Ogleich der Röstprozeß auf eine Reaktion zwischen Gas und festem Material zurückzuführen ist, kann bei sehr eisen-schwefelreichen Erzen und Stein auf eine Zerkleinerung bis zu einem gewissen Grade verzichtet werden; allerdings muß man dafür eine verlängerte Röstdauer bzw. eine ungenügende Röstung in Kauf nehmen. Die zunächst verblüffende Erscheinung beruht auf der porösen Beschaffenheit des erzeugten Fe_2O_3 , auf der Bildung von SO_3 aus SO_2 in Anwesenheit von Fe_2O_3 als Kontakts substanz und auf der oxydierenden Wirkung von SO_3 auf FeS :



Zu Beginn verläuft die Abröstung zunächst an der Oberfläche des Stückes normal unter Bildung von Fe_2O_3 und CuO , das jedoch durch abdestillierenden Schwefel (aus FeS_2) wieder geschwefelt werden kann. Damit ist nun die Röstung nicht beendet, es setzt die Einwirkung des entstandenen SO_3 auf die darunterliegende Fe—S-Komponente ein; die dabei entwickelte Wärmemenge genügt, die unveränderte Cu—S-Komponente¹⁾ zum Schmelzen zu bringen, und diese wandert kapillar durch die poröse Fe_2O_3 -Hülle ins Innere des Stückes, wo sie sich mit noch unzersetzten Sulfiden vereinigt. Es findet so eine ständig zunehmende Anreicherung des Kupfergehaltes in einem von porösem, fast kupferfreiem Fe_2O_3 umgebenen Kern statt, der schließlich aus fast reinem Cu_2S besteht.

Zum Schluß kann sogar eine Bildung von CuO bzw. Cu_2O in der Randzone des Kernes erfolgen (nach der Gleichung



das dann mit unverändertem Cu_2S unter Bildung von met. Cu weiter reagieren kann. Wegen der dichten Beschaffenheit der Kupferoxyde ist allerdings ein tieferes Eindringen dieser Reaktionen nicht möglich.

¹⁾ Vielleicht auch ein hypothetisches sehr leichtschmelziges Eutektikum von Cu_2S und Cu_2SO_4 .

Der hier beschriebene Vorgang findet im Grunde genommen bei jeder Abröstung Fe-S-haltigen stückförmigen Materials statt, doch kann natürlich die Wirkung der SO_3 durch von außen zugeführte Luft unterstützt werden. Je nach deren Menge wird man dann neben der Oxydation des Eisens auch eine solche des Kupfers erzielen, d. h. man wird eine mehr oder weniger mit CuO bzw. CuSO_4 durchsetzte Rinde erhalten; Anreicherung des Kernes an Cu erfolgt aber stets. Bei der früher angewandten „Kernröstung“ wurde nun ganz besonders langsam und mit einem Minimum von Luftzufuhr gearbeitet, so daß tatsächlich eine sehr kupferarme Schale entstand, die dann nach Beendigung des Prozesses durch Handarbeit von dem den Kern bildenden Kupferstein abgetrennt werden konnte.

Es leuchtet ein, daß die Abröstung stückigen Gutes und noch mehr die eigentliche Kernröstung nur auf Material mit sehr geringer Beimengung fremder Bestandteile angewandt werden kann, und daß die Entschwefelung um so geringer ist, je mehr Gangart z. B. die Erze enthalten. Da außerdem die aufzuwendende Zeit sehr lang ist, so finden derartige Prozesse in modernen Kupferhüttenbetrieben, in denen es auf rasche Realisierung der Metallwerte und auf gute Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes ankommt, kaum mehr Verwendung.

Der erforderliche Abröstungsgrad richtet sich natürlich nach dem gewünschten Verhältnis Cu:S. Da man meist aus den oben erläuterten Gründen (im Gegensatz z. B. zur Abröstung von Blei- oder Zinkerzen) nicht totröstet, sondern vielmehr noch einen gewissen Schwefelüberschuß über die zur Bindung von Cu als Cu_2S theoretische Menge im Röstgut lassen muß, so kann der Röstprozeß im allgemeinen zugunsten eines erhöhten Durchsatzes abgekürzt werden. Natürlich hat man es stets in der Hand, bei zu weitgehender Abröstung das richtige Verhältnis Cu:S beim nachfolgenden Verschmelzen des Röstgutes durch Zusatz nicht oder zu wenig abgerösteten Materials zu erreichen. Da ferner beim anschließenden Verschmelzen stets (auch im Schachtofen) noch ein gewisser Schwefelabbrand stattfindet, so muß auch dieser bei Ermittlung des im Röstgut noch zulässigen Schwefelgehaltes berücksichtigt werden.

Beispiel für die Berechnung des Abröstungsgrades.

Ein 5% Cu enthaltendes Erz soll auf einen Stein mit 40% Cu verarbeitet werden. — In dem Stein entsprechen 40 kg Cu (bezogen auf 100 kg Stein) rd. 10 kg S als Cu_2S . Vernachlässigt man die Verunreinigungen, was bei einer derart überschlägigen Berechnung zulässig ist, so besteht der Rest von 50 kg aus FeS entsprechend 32 kg Fe und 18 kg S. Auf 40 kg Cu im Stein kommen dann $10 + 18 = 28$ kg S. Auf 5 kg Cu im Erz kommen also $5 \times (28:40) = 3,5$ kg S, d. h. ohne Abbrand beim Verschmelzen und ohne Gewichtsveränderung beim Rösten müßte auf 3,5% S herab geröstet werden. Angenommen, der Abbrand beim Verschmelzen betrage noch 10% des Schwefels, d. h. von der hier vorgelaufenen Menge gehen nur 90% in den Stein, dann verhält sich die tatsächlich noch erforderliche S-Menge zu der berechneten wie 100:90. Bei einem gewichtsmäßigen Ausbringen an Röstgut von z. B. 80% des Vorlaufs an Erz findet eine prozentuale Anreicherung des Cu im Röstgut im Verhältnis 100:80 statt, und es muß daher auch ein entsprechend höherer S-Gehalt vorhanden

sein. Man erhält dann den gewünschten Schwefelgehalt im Röstgut nach der Gleichung:

$$X = 3,5 \frac{100 \times 100}{90 \times 80} = 4,9\%, \text{ rd. } 5\%.$$

Es hat natürlich keinen Sinn, eine solche Berechnung auf zehntel oder gar hundertstel Prozent durchzuführen, da eine derartige Genauigkeit im Betrieb doch nicht erreicht werden kann und die möglichen Fehler und Unsicherheiten bedeutend größer sind.

DIE RÖSTAPPARATE. (engl. calciners)

Im allgemeinen kann infolge des hohen Schwefelgehaltes der Kupfererze auf besondere Heizung — außer beim Anzünden — verzichtet werden; solche kommt, von Ausnahmefällen, die durch die Ofenkonstruktion bedingt sind, abgesehen, im allgemeinen nur dann in Betracht, wenn die Erze sehr S-arm sind oder bei Totröstung von Stein.

a) Rösten von stückförmigem Material (engl. lumps).

Hierher gehören die primitivsten Einrichtungen (Haufen, Stadel), die heute nur noch an wenigen Stellen der Erde angewandt werden; ferner die „Kiesbrenner“ und „Kilns“, das sind Schachtföfen, bei denen der Prozeß der Abröstung infolge ungehinderten Zutrittes der Luft von unten unter dem Einfluß des Zuges rascher erfolgt.

1. Haufen (engl. heaps).

Die Erze werden zu einem Haufen in Gestalt einer abgestumpften Pyramide mit natürlichem Böschungswinkel und manchmal sehr großer Grundfläche aufgeschichtet, die größten Stücke kommen nach innen, nach außen werden sie allmählich kleiner. Untergrund vorher geglättet, Lehm oder Ton aufgestampft, um Verluste durch eingesickerte Laugen zu vermeiden. Unter das Erz kommt ein Röstbett aus Scheit- oder Abfallholz, mit dazwischen ausgeparten Kanälen, um die Entzündung des Haufens zu ermöglichen. Bei sehr langen Haufen werden auch in diesen selbst Kanäle aus Holzschwarten eingebaut. Zum Schluß, meistens erst nach der Entzündung, deckt man das Ganze mit dem bei der groben Zerkleinerung der Erze stets fallenden feinen Schliech ab; es ist so möglich, bis zu 10% der gesamten Erzmenge an Schliech mit zu verarbeiten. Da der Prozentsatz an Feinem bei mechanischer Zerkleinerung stets größer (ca. 17%) ist, so erfolgt diese besser von Hand.

Die Höhe des Haufens richtet sich nach dem Schwefelgehalt und der Stückgröße, von ihr ist mit die Röstdauer abhängig; im allgemeinen macht man sie um so geringer, je höher der Schwefelgehalt (z. B. 2,10 m bei 35 bis 40% S, Röstdauer ca. 75 Tage; 2,75 m bei 15% S, Röstdauer ca. 70 Tage).

Bei Abröstung unter freiem Himmel entstehen durch Auslaugen von gebildetem Vitriol leicht Verluste; in regenreichen Gegenden sind die Haufen daher meist besonders überdacht. Außerdem empfiehlt es sich, zur Anlage ein schwach geneigtes Gelände zu verwenden und oberhalb einen Abzugskanal für Tagewasser anzulegen.

Für die Arbeit geeignet sind Erze mit mindestens 15% S; bei niedrigerem S-Gehalt muß noch Abfallholz oder minderwertiger Brennstoff lagenweise in dem Haufen verteilt werden, auch bei nennenswerten Gehalten an As und Sb, um gebildete Arsenate und Antimonate wieder zu reduzieren. Bei sehr hohem Pyritgehalt bringt man in der Decke halbkugelige Vertiefungen (30 cm Durchmesser, 20 cm tief) an, in denen sich ein geringer Teil (ca. 1%) des abdestillierten Schwefels flüssig ansammelt, der ausgeschöpft werden kann.

Auch die zulässige Stückgröße des Erzes ist vom Schwefelgehalt abhängig (bei mindestens 25% S 7 bis 8 cm Seitenlänge, bei unter 25% S ca. 5 cm); sie muß für jede Erzsorte empirisch festgelegt werden.

Ausbringen an schmelzwürdigem Röstgut von relativer Oberflächengröße des Haufens abhängig, da die oberste Schicht stets schlecht abgeröstet ist; je größer also der Haufen, um so besser das Ausbringen (bis zu 90%); doch sind Haufen von mehr als 1000 t Inhalt (entsprechend einer Grundfläche 26×13 m) selten, da die Röstdauer bei steigender Größe zu lange wird. Will man dies vermeiden, so benutzt man die „V-Methode“, d. h. man füllt nach einigen Wochen Brenndauer den V-förmigen Zwischenraum zwischen zwei nebeneinanderliegenden langen Haufen aus, so daß aus beiden ein großer Haufen entsteht.

Durchsatz: 25 bis 35 kg/qm/24 Stunden; Abröstung: auf 7,5 bis 15% S. Vorteile: Kosten für Arbeit und Brennstoff (zum Anzünden) sehr gering. Nachteile: Röstung dauert sehr lange, ist schwer zu kontrollieren, häufig unvollkommen; vor allem schädlich für die Nachbarschaft ist das ungehinderte Entweichen der Röstgase; Haufenröstung daher in den meisten Kulturstaaten verboten, nur noch in vegetationslosen Gegenden von Nordamerika, Mexiko, Australien, ferner im Kaukasus und vielleicht noch an manchen Orten von Norwegen und Ungarn in Benutzung. Ungeheurer Platzbedarf; bei einer Tagesleistung von 33 kg/qm bedarf man zur Abröstung von 100t Erz täglich einer Fläche von rd. 3000 qm, ohne die Zwischenräume zu berücksichtigen.

2. Stadel (engl. stalls).

Zur besseren Ausnutzung bzw. zur besseren Zusammenhaltung der Wärme und damit zur Abkürzung der Röstdauer umgab man die (kleinen) Haufen mit einer niedrigen Wand aus gewöhnlichem Mauerwerk. Die so geschaffenen „Stadel“ besaßen meist gemauerte schräge Sohle, außerdem Luftöffnungen in der Stirnwand und waren, zu mehreren nebeneinander angeordnet, an einen gemeinsamen, mit einer Esse verbundenen Kanal angeschlossen. Eine besondere Verbesserung („Wellnersche Stadel“) bestand in der Anbringung einer Rostfeuerung zum Anheizen. Die Erze konnten etwas S-ärmer sein als bei Haufenröstung. Größe zwecks guter Temperaturregulierung beschränkt, durch Anzahl ersetzt. Maße: 2,00 bis 3,25 m \times 2,50 bis 3,75 m Grundfläche, Höhe 1,50 bis 1,80 m, Fassung: 20 bis 35 t.

Durchsatz: 50 bis 100 kg/qm/24 Stunden. Abröstung etwas besser als bei der Haufenröstung.

Vorteile: bessere Abröstung, größere Leistung je Quadratmeter Bodenfläche, geringere Belästigung der Nachbarschaft durch Röstgase. Möglichkeit der Verwendung minderwertigen Brennstoffes an Stelle von Holz.

Nachteile: dieselben wie bei Haufen, jedoch in vermindertem Maße; dafür Anlagekosten und Arbeitslöhne höher.

Heute wohl überall wieder abgeschafft.

3. Schachtöfen (engl. shaft furnaces).

Da es sich hier um vollkommen geschlossene, richtige Öfen handelt, besteht die Möglichkeit, die Röstgase ohne Belästigung der nächsten Umgebung abzuleiten, und da es nur sehr schwefelreiches Material ist, das hier verarbeitet wird, sind die Röstgase meist SO_2 -reich genug zur Herstellung von Schwefelsäure. Aus diesem Grunde werden Kiesbrenner auch heute noch allgemein zur billigen Abröstung von Cu-haltigen Schwefelkiesen zum Zwecke der Schwefelsäuregewinnung, Kilns, wenn auch seltener, zur Ab-

röstung armer Steine und sehr S-reicher Kupfererze (am besten solcher mit 30 bis 50% S, 3 bis 8% Cu) verwandt.

Gänzlich ungeeignet sind solche Erze und Steine, die in der Hitze leicht zusammenbacken und große Klumpen bilden, welche nur mit sehr großer Mühe im Ofen zerkleinert und aus ihm entfernt werden können, z. B. Bleistein, viel Bleiglanz oder Kupferglanz enthaltende Erze; ferner solche Materialien, die, wie z. B. reiner Kupferkies, in der Hitze dekrepitieren und viel zu Verstopfungen führendes Feines liefern.

3a. Kiesbrenner (Fig. 78).

Niedriger Schacht von rechteckigem Querschnitt, meist drei zu einem Massiv mit gemeinsamem Abgaskanal vereinigt. Die Erzsäule ruht auf einem Rost aus

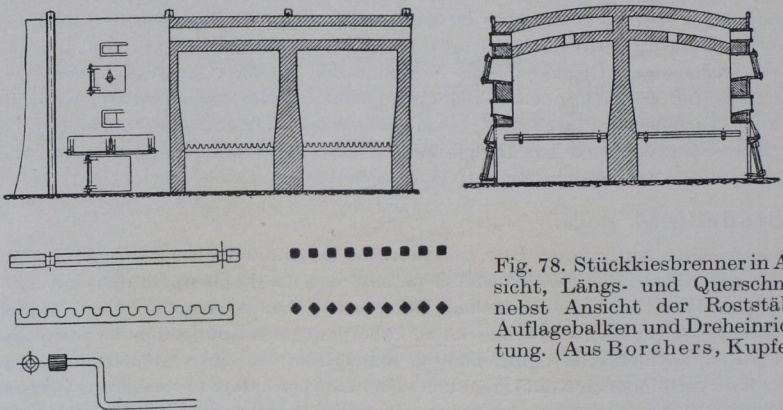


Fig. 78. Stückkiesbrenner in Ansicht, Längs- und Querschnitt nebst Ansicht der Roststäbe, Auflagebalken und Dreheinrichtung. (Aus Borchers, Kupfer.)

drehbaren Vierkantstäben, durch den die Oxydationsluft zutritt. Durch Drehen der während des Betriebes mit einer Kante nach unten gelagerten Roststäbe um 45° wird deren Zwischenraum so weit vergrößert, daß die Beschickung in darunter aufgestellte Wagen fallen kann. Beschickung erfolgt durch die Arbeits-türe; Luftzutritt durch regelbare Öffnungen in der Räumtüre.

Abmessungen: 1,20 bis 1,50 m \times 1,35 bis 1,80 m Querschnitt i. L., 1,20 m Höhe über dem Rost. Beschickungshöhe: 0,40 bis 0,60 m. Zulässige Stückgröße: höchstens 3,5 cm, meist Bohnen- bis Walnußgröße; Erze sollen mindestens 40% S enthalten. Abröstung bei Cu-haltigen Pyriten auf 5 bis 6% S, kann bis 4% getrieben werden. Betrieb diskontinuierlich (Nachteil!), da Ofen vor Neu-beschickung vollkommen entleert werden muß.

Durchsatz je Schacht: 175 bis 300 kg/qm/24 Std. Ein Schacht wird in 24 Std. 2- bis 3mal beschickt, das ganze Massiv in zyklischer Folge 6- bis 9mal. Gehalt der Röstgase an SO_2 : 6 bis 8 Vol. %.

3b. Kilns (roasting kilns, Fig. 79).

Unterscheiden sich von den Kiesbrennern durch bedeutendere Höhe und kontinuierliche Arbeitsweise. Stets mehrere Schächte zu einer Batterie mit gemeinsamem Kanal für die Abgase vereinigt. Beschickung durch das Gewölbe;

an der Vorderwand befinden sich mehrere Arbeitstüren und regelbare Luftöffnungen für die Oxydationsluft. Am Boden ist kein Rost, sondern die Beschickung ruht auf einer zur Räumöffnung geneigten oder sattelförmig ausgebildeten, gemauerten Sohle, um ein gutes Abrutschen des fertigen Röstgutes in davor aufgestellte Wagen zu ermöglichen.

Abmessungen: 1,00 bis 1,50 m \times 1,50 bis 2,50 m Querschnitt i. L., 2,80 bis 4,50 m Höhe. Infolge besserer Wärmeausnutzung (höherer Schacht!) kann S-Gehalt der Erze geringer (25 bis 40%) als bei Kiesbrennern sein.

Durchsatz: 500 bis 600 kg/qm/24 Std. Ab-röstung auf 6 bis 10% S. Gehalt der Röstgase an SO_2 : 4 bis 5 Vol.-%.

Sehr schwere Arbeit, vor allem mit leicht backendem Material, daher hohe Arbeitslöhne. Weniger auf Erze, mehr auf Stein angewandt. Heute fast allgemein durch modernere (Feinerz-) Öfen verdrängt.

b) Rösten von feinem Material.

Hierher gehören die wichtigsten und verbreitetsten Rösteinrichtungen. Man unterscheidet:

I. Öfen und Apparate ohne getrennte Führung von Heiz- und Röstgasen (falls überhaupt Heizung erforderlich ist).

1. Krählöfen mit im wesentlichen horizontaler Fortbewegung (der Oxydationsluft und) des Gutes unter gleichzeitigem Umwenden durch die Anwendung von Röstschaufeln (von Hand bewegt) oder von „Krählen“, die entweder selbst mechanisch bewegt werden bei feststehendem Herd oder feststehen bei bewegtem Herd. Einer oder mehrere Herde übereinander. Stets kontinuierlicher Betrieb. Heute fast allgemein angewandt.

2. Schachtöfen. Das Erz rieselt frei oder durch eingebaute Widerstände behindert senkrecht herab, so der im Gegenstrom aufsteigenden Oxydationsluft seine gesamte Oberfläche bietend. Meist keine besondere Heizung erforderlich. Stets kontinuierlicher Betrieb. Heute kaum mehr in Anwendung.

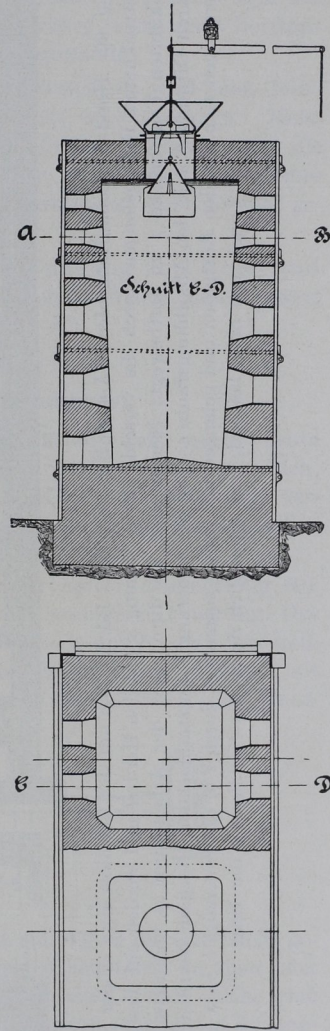


Fig. 79. Mansfelder Kiln in Grund- und Aufriß.
(Aus Borchers, Kupfer.)

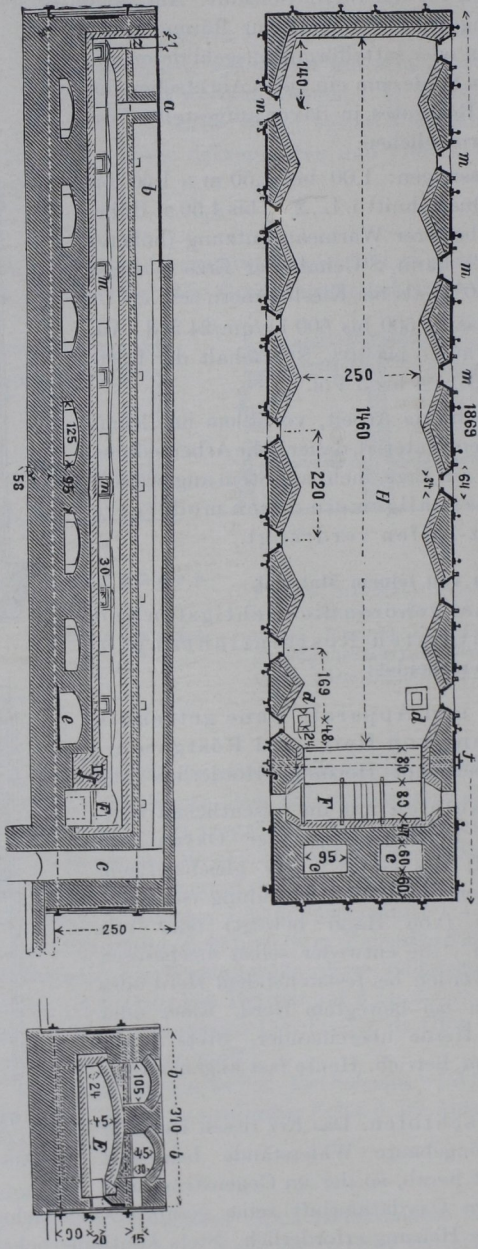


Fig. 80. Hand-Fortschaffungssofen. (Aus Schnabel, Hdb. Bd. I.) Die auf der Gewölbleplatte in der Nähe des Fuchses getrockneten Erze gelangen durch die verschließbare Öffnung *a* auf den Herd *H* und werden auf diesem nach der luftgekühlten Feuerbrücke *j* zu fortbewegt; hier werden sie durch eine der Arbeitströme *m* herausgeschafft oder fallen durch Öffnungen *d* in den Abkühlungsraum *e*. Die der Feuerung *F* entstammenden Heizgase streichen über den Herd, vereinigen sich mit den Röstgasen und gelangen mit diesen zusammen durch *z* in die Feuerzüge *b*, *b*, so den Herdraum *E* auch von oben heizend, und schließlich durch die Kanäle *c* in die Esse.

3. Trommelöfen. Können als Kombination von 1. und 2. aufgefaßt werden: gegen die Horizontale schwach geneigter, runder, drehbarer Schacht (Trommel), meist mit besonderer Heizung; Umwenden und Fortbewegen des Gutes durch Drehung der Trommel bewirkt. Früher auch ganz horizontale Apparate mit diskontinuierlichem Betrieb angewandt.

4. Sinterapparate. Durch die unbewegte Erzschiicht wird nach deren Entzündung die Oxydationsluft hindurchgedrückt oder -gesaugt. Meist keine besondere Heizung. Während bei allen übrigen Röstapparaten die Beschickung feinkörnig bleibt, erhält man hier ein poröses, gesintertes Produkt, das vor allem für die Weiterverarbeitung im Schachtofen geeignet ist.

II. Öfen und Apparate mit getrennter Führung von Heiz- und Röstgasen: Muffel- oder Gefäßöfen. In Kupferhütten kaum angewandt. Näheres darüber vgl. Kapitel „Zink“ (Bd. II).

1. Krählföfen (reverberatory calciners).

Die verwirrende Vielheit der verschiedenen, zum Teil auch heute noch nebeneinander gebrauchten Konstruktionen wird erst verständlich, wenn man deren Entwicklung aus gewissen „Urtypen“ historisch verfolgt. Für diese kann wieder als die gemeinsame Ausgangsform angesehen werden:

Der Hand-Fortschaufelungs-ofen (hand reverberatory calciner; Fig. 80). Flammofen mit rechteckigem Herd und stets mit besonderer Feuerung. Das Gut wird an dem der Feuerung entgegengesetzten Ende durch eine verschließbare Öffnung im Gewölbe eingetragen, flach ausgebreitet und von Hand mit Hilfe von sog. Röstschaufeln (rabblles; Fig. 81) nach dem heißeren Ende trans-

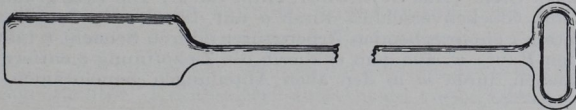


Fig. 81. Röstschaukel.

portiert, wobei gleichzeitig die tiefsten Schichten ständig an die Oberfläche gebracht werden. Diese Arbeitsweise erfordert viele Arbeitstüren an einer oder (falls von beiden Seiten gearbeitet wird) beiden Langseiten, durch welche auch der Austrag erfolgen kann. Die Herdbreite ist im Interesse einer guten Zugänglichkeit des Inhaltes (wie bei allen Flammöfen) beschränkt, meist 2,50 m, kann bis über 4,80 m (Bearbeitung von beiden Seiten) steigen. Die Herdlänge richtet sich nach dem Schwefelgehalt der Beschickung, d. h. je höher dieser, um so längere Zeit muß das Gut im Ofen verweilen, um so länger muß der Herd sein; man rechnet bis 25% S mit 19 bis 20 m, bis 20% S mit 15 m, bis 15% S mit 10 bis 12 m Herdlänge. Der dadurch bedingte gewaltige Platzbedarf kann dadurch vermindert werden, daß man den Herd in zwei (oder mehrere)

kürzere Herde unterteilt und diese übereinander anbringt. Man erreicht so gleichzeitig eine bessere Ausnutzung der Wärme, da die heißen Herdsohlen und -gewölbe die darunter und darüber befindlichen Herde mit heizen; außerdem besitzt der ganze Ofen eine geringere strahlende Oberfläche. Mit der Anzahl der Herde, d. h. mit der Höhe des Ofens wächst allerdings auch die Schwierigkeit der Bearbeitung von Hand, weshalb die Fortschaufler selten mehr als zwei Herde besitzen. Am Ende jedes Herdes fällt das Gut durch eine schlitzförmige Öffnung auf den nächsttieferen, wodurch Staubentwicklung unvermeidlich wird.

Der Durchsatz in 24 Stunden schwankt je nach dem Grad der Abröstung und dem ursprünglichen S-Gehalt zwischen 110 und 170 kg/qm und mehr. Brenn-

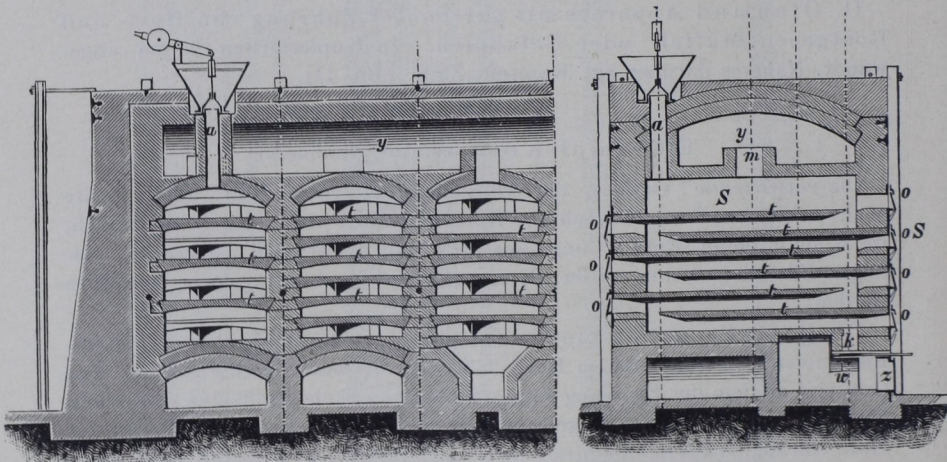


Fig. 82. Malétra-Ofen. (Aus Schnabel, Hdb. Bd. I.) Die Erze gelangen aus dem Fülltrichter mit Glockenverschluß durch *a* auf die oberste Sohle; *o, o* die den einzelnen Platten *t* entsprechenden Arbeitstüren; durch Schacht *k* fällt das fertige Röstgut in den Raum *w*, aus dem es durch die Ziehöffnung *z* entfernt wird. Die Röstgase ziehen durch *m* in den allen Abteilungen gemeinsamen Kanal. *y*

stoffverbrauch ebenfalls stark vom S-Gehalt und dem Abröstungsgrad abhängig (8 bis 20% des Durchsatzes).

Da man das Röstgut an jeder beliebigen Arbeitstüre austragen und an jeder Stelle des Ofens, d. h. bei jeder Temperatur, beliebig lange verweilen lassen kann, ist es möglich, jeden beliebigen Abröstungsgrad zu erzielen, besteht ferner eine untere zulässige Grenze des Schwefelgehaltes nicht, d. h. der Ofen eignet sich vor allem zum Totrösten und zur Verarbeitung sehr schwieriger, leicht backender oder aus anderen Gründen ein sehr enges Temperaturintervall erfordernder Erze. Dies ist auch der Grund, weshalb er trotz der großen Nachteile noch nicht vollkommen verschwunden ist. Diese Nachteile bestehen in der sehr anstrengenden und daher kostspieligen Handarbeit, die außerdem infolge des nicht zu vermeidenden Austretens von Röstgasen während der Arbeit un-

gesund ist; ferner in dem meist hohen und auch bei hohem S-Gehalt unvermeidlichen Brennstoffaufwand; sowie in der Unmöglichkeit, die infolge des zeitweiligen Einströmens kalter Luft im Überschuß durch die Arbeitstüren in ihrem SO_2 -Gehalt stark schwankenden Röstgase auf Schwefelsäure zu verarbeiten.

Die Fortschaufler werden daher heute nur noch in Spezialfällen benutzt.

Der Malétraofen (Fig. 82). (Ursprüngliche Idee von Olivier-Perret, von Malétra, später von Schaffner, verbessert.)

Ein verbesserter Fortschauflungs-ofen. Herdfläche in eine große Anzahl (meist sieben) kurzer, schmaler, übereinander angeordneter Herde unterteilt, von denen jeder nur eine Arbeitsöffnung an der Schmalseite besitzt. Mehrere solcher Einheiten sind zu einem Massiv mit gemeinsamem Abgaskanal vereinigt. Handarbeit dadurch erleichtert, daß die Bewegung des Gutes nicht mehr von rechts nach links (bzw. umgekehrt), sondern von vorn nach hinten oder umgekehrt erfolgt; andererseits erschwert die hohe Lage der obersten Herde die Arbeit. Die durch die Bauart bedingte bessere Wärmeausnutzung ermöglicht ferner ein Arbeiten ohne besonderen Brennstoffaufwand, wenn der ursprüngliche S-Gehalt hoch genug (mindestens 35%) ist, und schließlich gestattet die Vereinigung mehrerer Öfen mit gemeinsamem Gaskanal die Erzeugung eines Röstgases von gleichmäßiger Zusammensetzung, das auf Schwefelsäure verarbeitet werden kann. Die Öfen wurden daher lange Zeit als „Feinkiesbrenner“ zur Verarbeitung von Pyrit und sehr pyritreichen feinen Kupfererzen auf Schwefelsäure benutzt, sind jedoch heute fast überall wegen des geringen Durchsatzes und der immer noch schweren Handarbeit durch mechanische Öfen verdrängt¹⁾.

Die mechanischen Fortschauflungsöfen (automatic reverberatory calciners).

Die weitere Entwicklung des Fortschauflungs-ofens bestand in erster Linie in dem Ersatz der teuren, ungesunden und anstrengenden Handarbeit durch mechanische. Es entstand sehr bald der eigentliche „Krählofen“, d. i. ein solcher, bei dem ein quer zur Richtung des Erzstromes im Ofen angebrachter „Krähhalter“ eine Anzahl verschieden geformter, in der einfachsten Ausführung aus schräg gestellten Flacheisen bestehender Röstschaufler, die „Krähle“, trägt, welche das Umwenden und den Weitertransport des Röstgutes besorgen; und zwar wird entweder, wie meistens, der Krähhalter mechanisch bewegt, während der Herd in Ruhe verharrt, oder der Herd bewegt sich mitsamt dem darauf lagernden Gut an den feststehenden Krählen vorbei. Unter anfänglicher Beibehaltung der rechteckigen Herdform und in Nachahmung der Krählarbeit von Hand entstanden Ofenkonstruktionen, bei denen der Krähhalter an einer Stange, Kette oder einem Drahtseil durch den Ofen gezogen wird. Die Fortentwicklung des Malétraofens in dieser Richtung ergab den Ofen von Spence und dessen Verbesserung den Ofen von Keller,

¹⁾ Der Ofen wird auch als Schachtofen mit eingebauten Platten bezeichnet (wie übrigens auch die weiter unten behandelten runden, mechanisch betriebenen Mehretagen-Telleröfen); natürlich hat auch diese Auffassung ihre Berechtigung, stimmt jedoch meines Erachtens nicht mit der hier betonten historischen Entwicklung überein.

Gaylord und Cole mit wesentlich verlängerten Herden und hin und her gehenden Krähhaltern. (Auch der heute noch zum Rösten von Zinkerzen benutzte Mathiessen & Hegeler-Ofen gehört in diese Kategorie.) Ausgehend von ursprünglichen Fortschaufler entstand zunächst der Ofen von O'Harra, ein zweierdiger Ofen von zum Teil geradezu ungeheuren Abmessungen, bei dem mehrere Krähhalter an einer Kette ohne Ende angebracht sind und abwechselnd die obere und die untere Etage bestreichen. Trotzdem die Antriebscheiben weit außerhalb des Ofens angebracht waren, um eine Abkühlung der bewegten Eisenteile zu deren Schonung herbeizuführen, genügte dies nicht. Vielmehr traten ständig Störungen des Mechanismus unter dem Einfluß der heißen und sauren Gase ein. Die Beseitigung dieses Übelstandes bezweckten die Verbesserungen von Allen (die Krähhalter besitzen Rollen, die auf im Ofen verlegten Schienen laufen) und von Brown (Verlegung der Führungsschienen in seitliche Nischen); ferner der Ofen von Wethey, bei dem die Führungsschienen außerhalb des Ofens liegen und so zwar ständig gekühlt werden, doch hat diese Konstruktion den Nachteil, daß die Krähhalter durch seitliche Schlitz durch die Seitenwände hindurchgeführt werden müssen. Eine andere Bauart von Hixon verlegt die Führungsschienen in eiserne, in die Herdsohle eingebaute Büchsen, durch welche die Oxydationsluft streicht, die so gleichzeitig kühlt und sich selbst erwärmt; dieser Ofen arbeitet außerdem mit hin und her gehenden Krähhaltern. Die besten Erfolge in der einmal eingeschlagenen Richtung erzielte von der Ropp mit seinem einherdigen Ofen, der an manchen Orten noch heute in Benutzung ist.

Der Roppofen (Fig. 83) besitzt auf vierrädrigen Wagen befestigte Krähhalter; die Schienen laufen in einem auch während des Betriebes zugänglichen Kanal unter dem Herd; Antrieb durch ein Seil ohne Ende und an senkrechten Achsen befestigte Seilscheiben; nach Passieren des Ofens bewegt sich der Krähwagen auf außerhalb verlaufenden Schienen zurück, wodurch vollkommene Kühlung erreicht wird. Viel Leerarbeit!

Um die zum Teil ungeheure Ausdehnung vor allem der einherdigen Öfen in der Längsrichtung zu vermeiden, ging schon Brown dazu über, den einzigen Herd seines Ofens zu einem elliptischen Band zu krümmen; es entstand der „horse shoe“- oder „Hufeisenofen“. Einen Schritt weiter ging Pierce, der einen Ofen mit ein bis zwei ringförmigen Herden baute und dadurch eine wesentliche Vereinfachung der ganzen Konstruktion erzielte: die Krähle sind an Armen befestigt und diese radial an einer zentralen, außerhalb der Herde liegenden senkrechten Welle angebracht. Auch dieser Ofen besitzt, wie der vorige, noch keinen zusammenhängenden Ofenraum, sondern eine Unterbrechung des Gewölbes zur Kühlung der Krähle und für die Erzaufgabe und damit den allen diesen Ofenkonstruktionen anhaftenden Nachteil der schwingenden Ofentüren für den Durchlaß der Krähhalter an Anfang und Ende des eigentlichen Herdes, ferner die schon beim Wetheyofen gerügte Schwierigkeit, die Krählarne gasdicht durch die Seitenwände hindurchzuführen.

Die bei den ursprünglichen Fortschauflern an einer Schmalseite des Ofens liegende Feuerung hatte bei den genannten mechanischen Öfen hier keinen

Platz mehr und wanderte daher an eine Längsseite; mit fortschreitender Verlängerung des Herdes mußte ihre Anzahl vermehrt werden, was wiederum eine gewisse Anpassungsmöglichkeit der Heizung an den Schwefelgehalt der Erze zur Folge hatte, indem man je nach Bedarf alle oder nur einige Feuerungen in Betrieb nahm.

Trotz der vielen, zum Teil sehr genialen Verbesserungen (die hier genannten bilden nur einen geringen Teil der Vorschläge und Ausführungen) gelang es erst, einen wirklich brauchbaren Röstofen zu schaffen, als man sich von der alten Form des Fortschauflers emanzipierte und den Herd tellerförmig gestaltete, die die Röstarme tragende zentrale Welle in den Ofenraum selbst verlegte. Die Konstruktion wurde dadurch wesentlich vereinfacht, und außerdem war nun die Möglichkeit einer theoretisch fast unbegrenzten

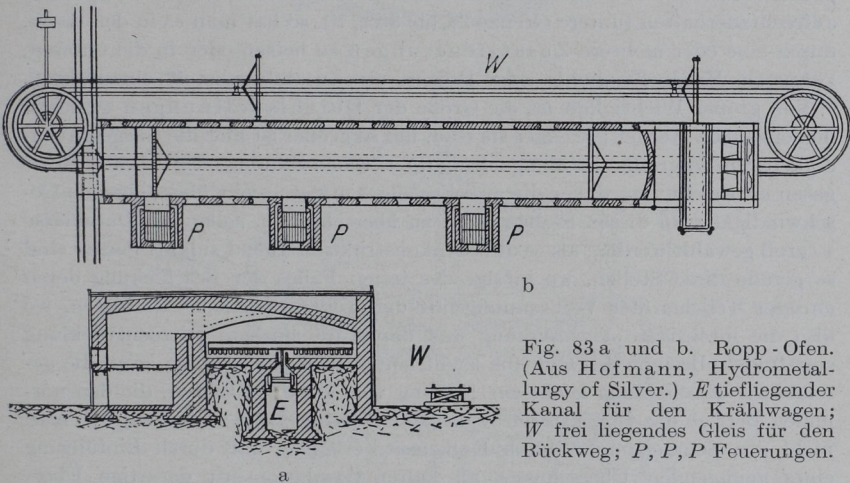


Fig. 83 a und b. Ropp-Ofen. (Aus Hofmann, Hydrometallurgy of Silver.) *E* tief liegender Kanal für den Krählwagen; *W* frei liegendes Gleis für den Rückweg; *P, P, P* Feuerungen.

Vermehrung der Anzahl der Herde und damit einer Ausdehnung in die Höhe bei geringer bebauter Fläche gegeben. Natürlich wurde dadurch wieder die Frage des Schutzes der bewegten Teile (Welle und Krählarne) gegen die heißen Röstgase akut, indessen kann man sich jetzt leicht dadurch helfen, daß man diese Teile hohl ausführt und entweder Kühlwasser hindurchleitet oder Luft, die zugleich als vorgewärmte Oxydationsluft dienen kann. Einen großen Nachteil besitzen allerdings diese, heute den verbreitetsten Typ darstellenden Öfen: die Krählarne mitsamt den daran befestigten Krählen sind außerordentlich schwer zugänglich, und die einzelnen neuzeitlichen Konstruktionen und Verbesserungen unterscheiden sich daher in der Hauptsache durch die verschiedenen mehr oder weniger zweckmäßigen Methoden der Auswechslung der Krählarne mit möglichst kurzer Unterbrechung des Betriebes.

Der so geschaffene moderne sog. Mehretagen-Tellerofen (Fig. 84 bis 88) besitzt bis zu 9 Herde, von denen der oberste zum Trocknen dient (ohne Gewölbe oder mit besonderer Abführung des Wasserdampfes, um die SO_2 -Gase nicht zu verdünnen); die Erzaufgabe erfolgt an der Peripherie des ober-

sten eigentlichen Röstherdes durch eine regulierbare Aufgebevorrichtung; das Gut kommt infolge der hier herrschenden hohen Temperatur zur Entzündung und wird durch die an einem oder zwei (bis vier) Armen befestigten Krähle unter gleichzeitigem Umwühlen nach der Mitte geschafft, wo es auf den nächsten Herd fällt, auf dem es wieder nach außen wandert, usf. Die Bewegungsrichtung wird durch die Stellung der Krähle an den Armen bedingt; außerdem muß darauf Rücksicht genommen werden, daß ja die je Flächeneinheit zu bewältigende Erzmenge von der Mitte nach außen abnimmt, d. h. der Winkel, den die Krähle mit der Tangente bilden, muß mit der Entfernung vom Mittelpunkt abnehmen. Umdrehungsgeschwindigkeit und Schütthöhe regeln den Durchsatz und die Entschweflung; diese ist außerdem im allgemeinen um so besser, je mehr Etagen der Ofen besitzt. Reicht der Schwefelgehalt nicht aus, um allein bis zum Schluß die erforderliche Rösttemperatur aufrechtzuerhalten (untere Grenze 28 bis 30% S), so hat man es in der Hand, durch eine oder mehrere Zusatzfeuerungen zu heizen oder in die unteren, kältesten Herde Feinkohle oder Roherz als Zusatzbrennstoff einzuführen.

Von großer Wichtigkeit ist die Größe der Durchlaßöffnungen zwischen den einzelnen Herden; je enger sie sind, um so größer ist hier die Gasgeschwindigkeit, um so größer die Menge des mitgerissenen Staubes, der mit den Röstgasen entweicht; um daher die zweckmäßig 3 m/Sek. nicht übersteigende Geschwindigkeit an diesen Stellen nicht zu überschreiten, sollen die Durchlässe so groß gewählt werden, als es die Ofenkonstruktion irgend zuläßt. Ferner sind es gerade diese Stellen, wo infolge des freien Falles der Beschickung deren einzelne Teilchen der Verbrennungsluft die größte Oberfläche darbieten, wo also die intensivste Verbrennung und damit die höchste Hitzeentwicklung stattfindet. Besteht das Gut aus leicht sinterndem Material, so kann die geschilderte Erscheinung leicht zur Bildung von Ansätzen führen, die den normalen Betrieb des Ofens stören; es ist daher dafür Sorge zu tragen, will man nicht den Schmelzpunkt durch Kalkzusatz erhöhen, daß durch Einführung eines genügenden Überschusses an kalter Oxydationsluft derartige Überhitzungen vermieden werden. In solchen Fällen ist natürlich eine möglichst weite Gestaltung der Durchlaßöffnungen besonders wichtig¹). Eine Verminderung der Flugstaubmenge wird auch durch möglichst geringe Fallhöhe erzielt; eine solche erreicht man durch geringe Entfernung der Herde voneinander und durch Ausbildung von Rutschflächen (z. B. Ofen der Erzröstgesellschaft) an den Durchlässen.

Als Baumaterial verwendet man heute allgemein einen guten Schamottestein, rote Ziegelsteine werden kaum mehr benutzt; daneben hat man, wenigstens bei kleineren Öfen mit bis 3,60 m Durchmesser, ganz gute Erfahrungen mit in der Hitze zu einem Monolithen abbindendem Beton gemacht (z. B. aus 1 Tl. Portlandzement, 2 Tln. Sand, 4 Tln. zerkleinerte Schlacken). Für die der Hitze ausgesetzten Eisenteile verwendet man mit gutem Erfolg hitzebeständige Speziallegierungen. Häufig sind die Öfen vollständig mit Eisenblech ummantelt,

¹) Man kann sich auch dadurch helfen, daß man für die Gase eigene Durchlässe schafft, während die für das Erz bestimmten durch besondere Einrichtungen den Gasdurchgang verhindern (vgl. Fig. 84).

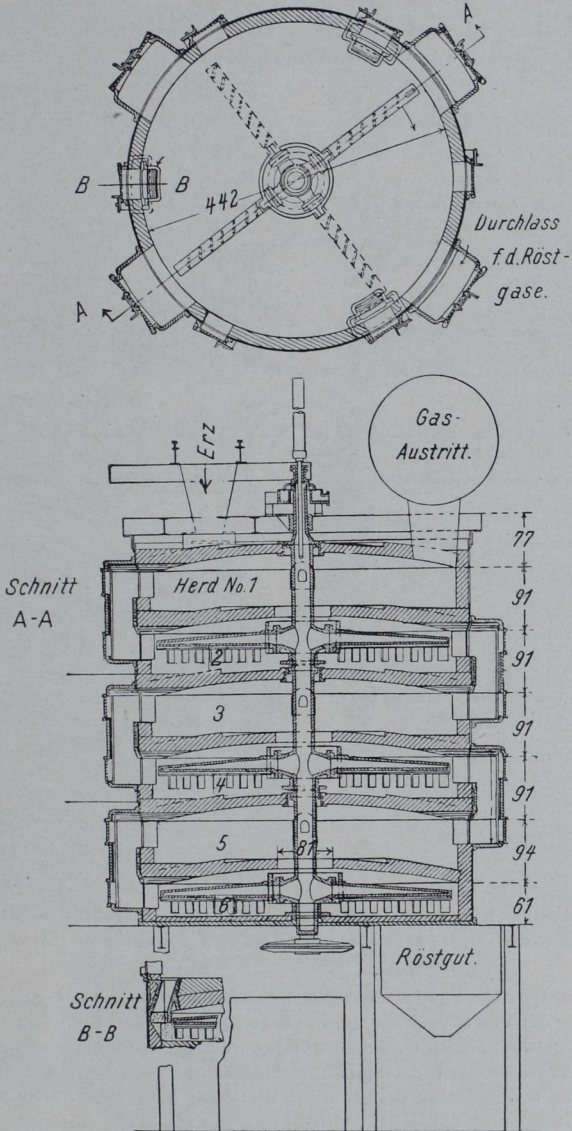


Fig. 84. MacDougall-Ofen mit sechs Herden.
 (Aus Austin, The Metallurgy of the common
 Metals.) Maße in cm.

der untere Teil zur besseren Zusammenhaltung der Wärme durch Korkstein, Sil-O-Cel od. dgl. isoliert.

Infolge der Möglichkeit, die Menge der Oxydationsluft genau zu kontrollieren, können die Abgase dieser Öfen im allgemeinen leicht auf Schwefelsäure verarbeitet werden.

Die Urform des Mehretagenofens ist der

Ofen von Parkes. Bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt, indessen damals nicht weiter ausgebildet, da es nicht gelang, die der Hitze ausgesetzten Eisen-teile zu schützen. Er besaß zwei (bis vier) tellerförmige Herde und eine massive zen-

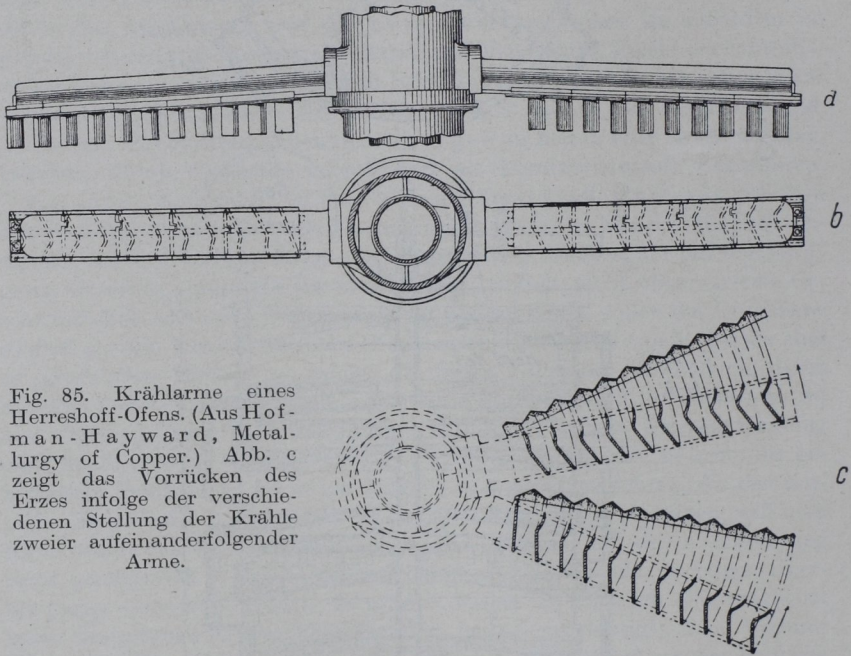


Fig. 85. Krählarms eines Herreshoff-Ofens. (Aus Hofman-Hayward, Metallurgy of Copper.) Abb. c zeigt das Vorrücken des Erzes infolge der verschiedenen Stellung der Krähle zweier aufeinanderfolgender Arme.

trale eiserne Welle. (Eine verbesserte Form dieses Ofens stand bis vor kurzem in der Kupferkammerhütte zu Hettstedt zur Abröstung des Spurstones für den Ziervogelprozeß.)

Ofen von MacDougall. Der erste lebensfähige Ofen dieser Art; sein Name ist daher (wie der des folgenden, daraus hervorgegangenen) heute noch als Typenbezeichnung gebräuchlich, trotzdem die gegenwärtig in Betrieb befindlichen Verbesserungen keine große Ähnlichkeit mehr mit seiner ursprünglichen Ausführungsform besitzen. Schon diese besaß 6 bis 8 Herde, davon der oberste offen, als Trockenherd ausgebildet. Krählarms noch fest mit der Welle verbunden: umständliche Auswechslung. Oxydationsluft mittels Ventilators eingeblasen: starke Flugstaubentwicklung (bis 16% des Erzgewichtes).

In moderner, wesentlich verbesserter Ausführung, z. B. der Allis Chalmers Co., ist der Trockenherd überwölbt, Welle und Krählarms sind durch

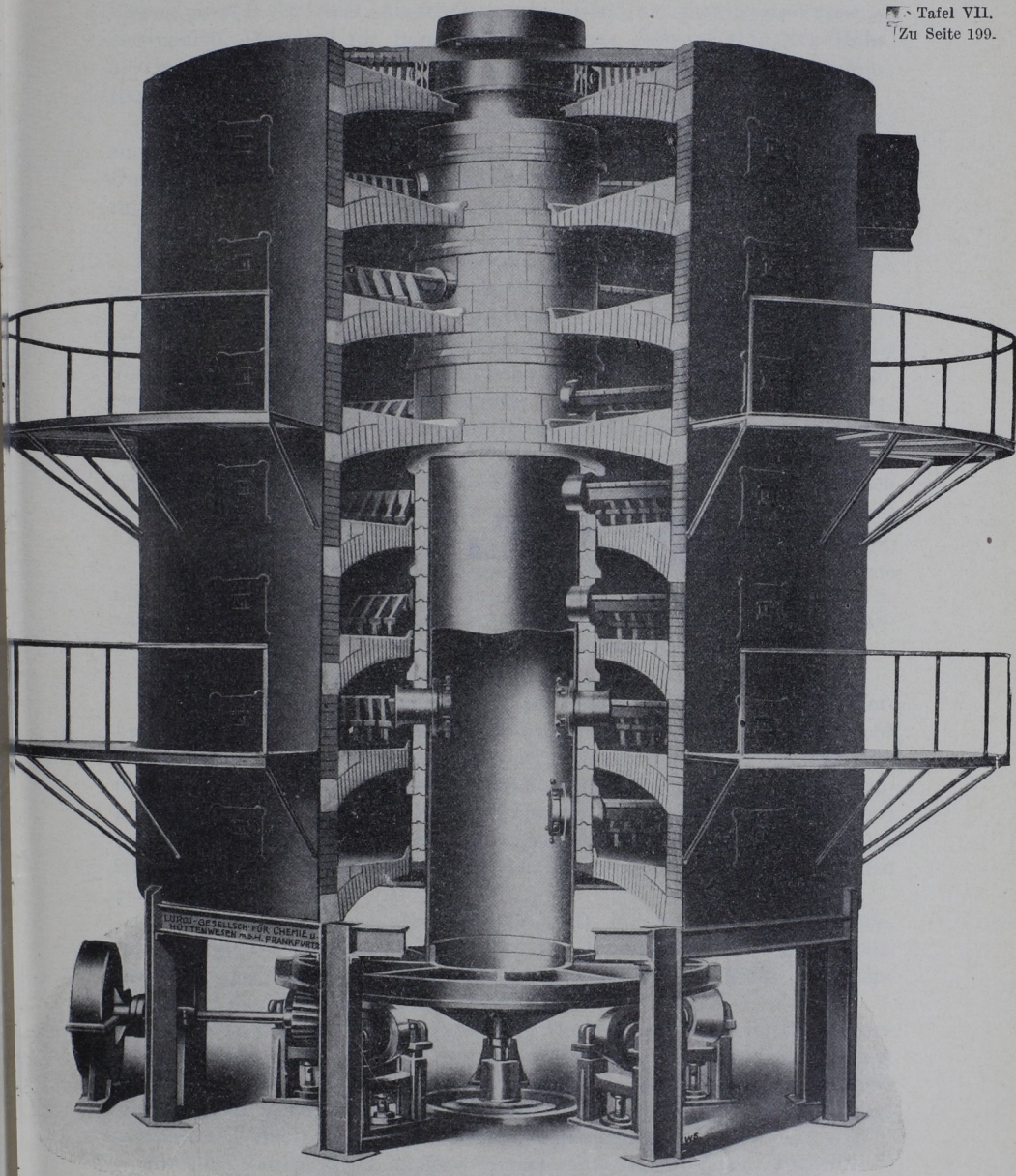


Fig. 88. Wedge-Ofen der „Lurgi“, Ges. f. Chemie u. Hüttenwesen, Frankfurt a. M., mit sieben Etagen.



**BIBLIOTHEK DER
TECHN. HOCHSCHULE
G R A Z.**

Wasser gekühlt (75 l/Min., Austrittstemperatur 80°, als Kesselspeisewasser zu verwenden). Durchlaß für Beschickung und Gas getrennt (Fig. 84). Höhe: 5,56 m, Durchmesser 5,50 m, Herdfläche: 148 qm, Umdrehungszahl: 0,8/Min., Kraftbedarf: $1\frac{1}{2}$ bis 2 PS.

Der Ofen vermag z. B. in 24 Stunden 59 t Erz von 35 auf 7% S abzurösten, d. i. ein Durchsatz von rd. 400 kg je qm. Die Erze bleiben im Durchschnitt $1\frac{1}{2}$ Stunden im Ofen und müssen, will man auf Zusatzfeuerung verzichten, mindestens 28% S enthalten.

Erzeugte Flugstaubmenge 4 bis 5% des Vorlaufs.

Für Großbetrieb mit gleichbleibenden Erzen von geeignetem Schwefelgehalt haben sich die Öfen vorzüglich bewährt.

Ofen von Herreshoff (Fig. 85). Ähnlich dem vorigen. Kühlung von Welle und Krählarmlen durch Druckluft in genau regelbarer Menge, die vorgewärmt schließlich in den untersten Herdraum strömt; hierdurch gelingt es, die untere zulässige Grenze des S-Gehaltes für Arbeit ohne Zusatzfeuerung herabzudrücken, bei Erzen mit höherem S-Gehalt den Durchsatz zu erhöhen. Krählarmlen in Schlitze in der Welle eingesetzt, so leicht während des Betriebes auswechselbar; ihre Beweglichkeit in senkrechter Richtung führt jedoch zu Störungen, wenn die Herde Ansätze bekommen. Ofen ganz ummantelt; meist kleinere Einheiten mit $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ PS Kraftbedarf; erfordern wenig Bedienung.

Die sehr großen Öfen der Magma Copper Co. zu Superior, Ariz., besitzen 9 Herde mit einem Durchmesser von 5,95 m, Durchsatz je 24 Stunden: 68 t Erz mit 30% S, auf 10% S abgeröstet. Kraftverbrauch 7,5 PS, Luftverbrauch 70 cbm/Min. Die Abgase enthalten 5 Vol.% SO₂. Zum Anheizen dienen zwei Öldüsen.

Weitere Beispiele von Abänderungen des MacDougallofens:

Öfen der Maschinenbauanstalt Humboldt (Fig. 86). Besitzen verbesserte Befestigung der Krählarmlen, so daß ein Ausweichen nach oben nicht mehr möglich ist. Bei Öfen für einen Durchsatz von mehr als 8 t/24 Std. sind die einzelnen Krählarmlen auswechselbar. Kühlluft wird durch einen Ventilator eingeblasen; Öfen mit über 12 t Durchsatz besitzen Wasserkühlung. Für Erze mit unter 30% S ist eine Zusatzfeuerung vorgesehen. Der freie Fall des Röstgutes ist an der Peripherie durch Nischen in den Seitenwänden mit schrägem Boden gemildert.

Öfen der Erzröstgesellschaft (Fig. 87). Sie besitzen durchgehende, leicht auswechselbare Krählarmlen und an den Durchlaßöffnungen in der Nähe der Welle sog. Staubschurren, welche den freien Fall des Erzes verhindern und damit die Flugstaubbildung ermäßigen.

Öfen von Wedge (Fig. 88, Tafel VII). Gelten heute als vollkommener Typ für die Bewältigung großer Massen. Vor allem ausgezeichnet durch eine sehr weite hohle Welle von 1200 mm Durchmesser, die während des Betriebes befahren werden kann. Nur die Krählarmlen mit Wasserkühlung; sie besitzen eine sehr einfache Befestigungsvorrichtung.

Die Öfen werden mit 3, 5 oder 7 Herden (außer dem offenen Trockenherd) gebaut. Herddurchmesser 5,00 bis 7,00 m; ein Ofen mit 7 Herden von 7 m Durchmesser setzt in 24 Stunden bis zu 100 t schwefelreiches Gut durch, entsprechend einer Leistung von 370 kg/qm.

Einen dritten Typus bilden die Öfen mit einem oder mehreren (bis drei) rechteckigen Herden, auf denen die Fortbewegung und das Um-

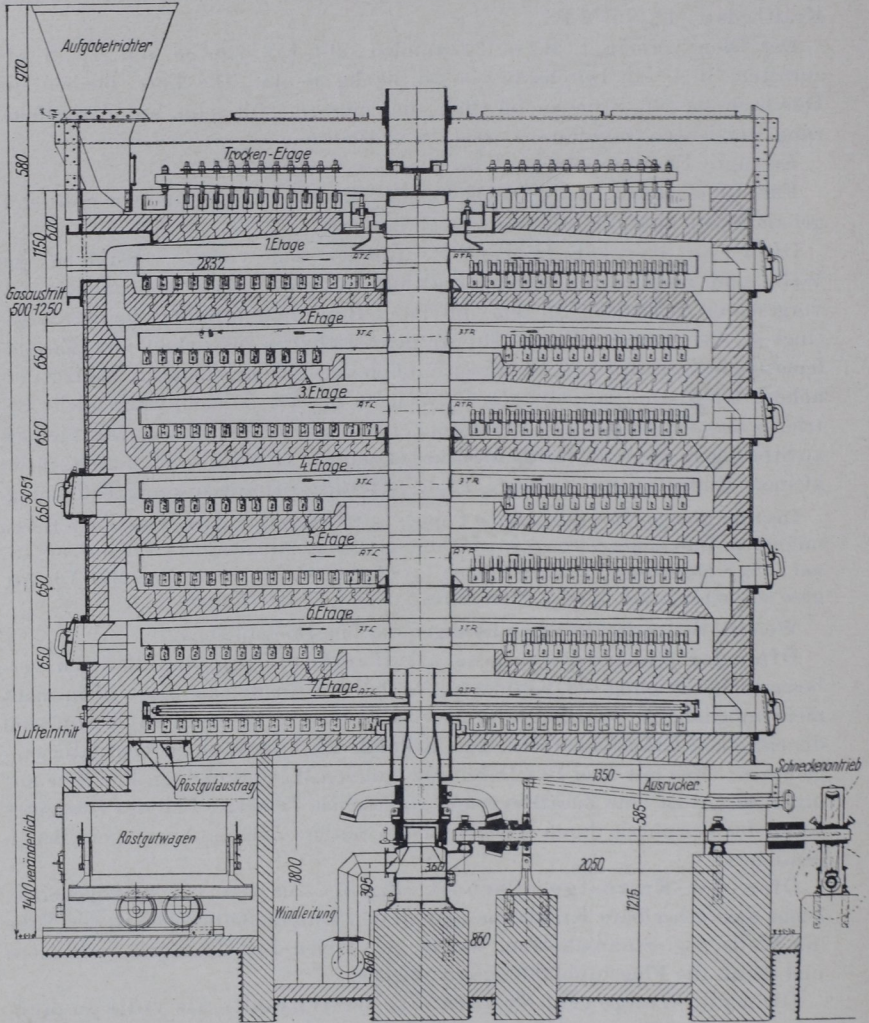


Fig. 86. Humboldt-Röstöfen mit 7 Etagen und Vortrocknung des Erzes auf der obersten Sohle; Luftkühlung von Welle und Krählarmlen. Leistung in 24 Std.: 10 bis 12 t. Maße in mm.

wenden des Gutes durch um senkrechte Wellen rotierende Krählarmlen mit Krählen nach Art des Mehretagen-Tellerofens erfolgt.

Hierher gehören die Öfen von Edwards und Merton (s. Fig. 63, S. 120), welche letzterer allerdings mehr für Silber- und Zinkerze angewandt wird.

Dabei sind die Wellen (mit meist nur einem Krählarm, der die ganze Herdbreite bestreicht) so in der Längsachse angeordnet und arbeiten so gegeneinander, daß ein Arm das Gut an den folgenden weitergibt, und daß an den Stellen der stärksten Abröstung die Beschickung besonders lange verweilt. Von Zeit zu Zeit ist es allerdings notwendig, das Erz aus den von den Krählen nicht bestrichenen toten Ecken von Hand wieder in deren Reichweite zu schieben. Die Öfen sollen zufriedenstellend arbeiten und sind, wie ja auch viele der obengenannten, auch zum sulfatisierenden Rösten und zur Röstung von Silbererzen geeignet.

Der Ofen von Edwards (Fig. 89). Besitzt einen oder zwei („Duplex“-Ofen) geneigte Herde, deren Neigung für die Durchsatzgeschwindigkeit maßgebend ist. Herdfläche eines einherdigen Ofens z. B. $1,98 \times 15,45 \text{ m} = 31 \text{ qm}$.

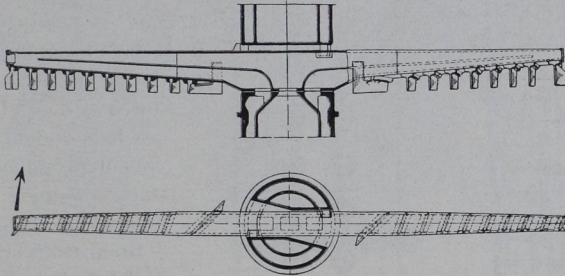


Fig. 87. Durchgehende Krählarme des Röstofens der Erzröstges. m. b. H., Cöln. (Aus Borchers, Kupfer.) Sie werden durch eine X-förmig ausgebildete Spalte der Welle gesteckt; Befestigung erfolgt durch kleine Vorsprünge der Welle, welche beim Andrehen in entsprechende Vertiefungen der Rührarme eingreifen.

Durchsatz/24 Stunden: 20 t, d. i. je qm Herdfläche rd. 650 kg eines Erzes mit 30% S. Abröstung auf 12% S.

Schließlich gehören hierher noch die Öfen mit feststehenden Krählen und beweglichem Herd.

Beispiel: Der Ofen von Huntington und Heberlein (sog. „Rundofen“; Fig. 90 u. 91). Besitzt einen drehbar gelagerten Herd von 6 bis 8 m Durchmesser und eine seitlich angeordnete Schräg- oder Planrostfeuerung. Eintrag des Gutes etwas exzentrisch in der Mitte durch einen Trichter mit heb- und senkbarer Manschette, wodurch die Schütthöhe reguliert werden kann. Die Krähle sind in einem im Gewölbe eingemauerten Rahmen leicht auswechselbar befestigt. Infolge der exzentrischen Anordnung des Aufgabetrichters wird das aufzugebene Gut bei der ersten Umdrehung durch den innersten Krähl erfaßt und nach außen geschoben, gelangt bei der nächsten Umdrehung in die Reichweite des zweiten Krähls usw., bis der äußerste Krähl das fertige Röstgut über den Rand des Herdes in daruntergestellte Wagen austrägt. — Im Gewölbe befinden sich meist 4 Gasaustrittsöffnungen in verschiedener Entfernung von der Mitte, durch deren Öffnen und Schließen man den Weg der Flammengase verkürzen oder verlängern und so die Temperatur im Ofen regulieren kann. Trotzdem ist die erzielbare Temperatur nicht sehr hoch, und da auch der von

der Beschickung zurückgelegte Weg nicht sehr lang ist, eignet sich der Ofen trotz besonderer Feuerung nicht zum Totrösten; dagegen wird er mit Vorliebe zur Vorröstung für die Sinterapparate (siehe Sinterröstung) benutzt, da

er ein sehr gleichmäßiges Produkt liefert und große Leistungsfähigkeit besitzt; auch ist er gegen leicht sinterndes Material ziemlich unempfindlich und daher besonders zum vorbereitenden Abrösten von Bleierz, Bleistein u. dgl. geeignet.

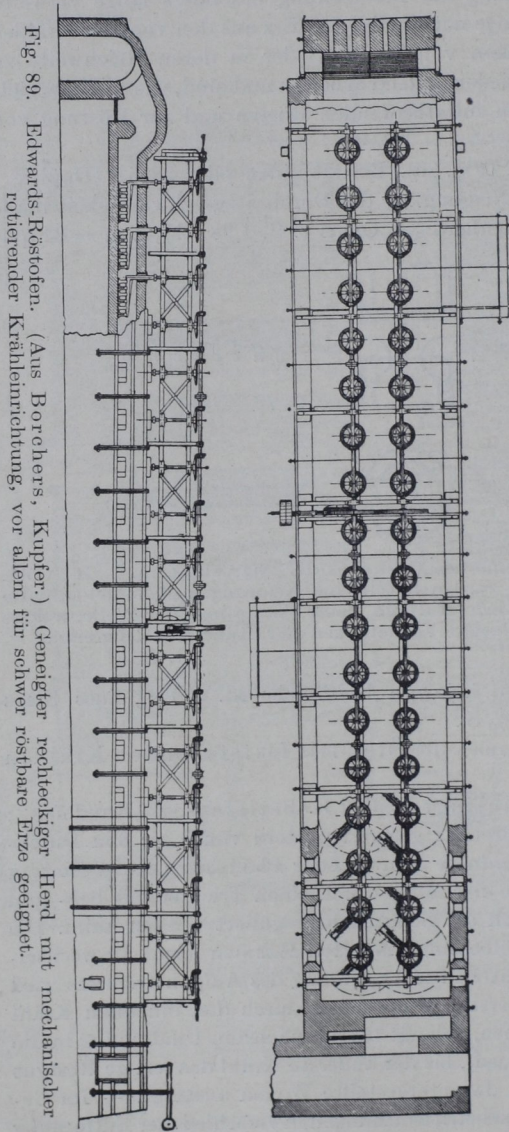
Durchsatz eines 8-m-Ofens bis zu 80 t (d. i. über 1590 kg/qm!), wird teils durch die Schütthöhe, teils durch die Umdrehungsgeschwindigkeit reguliert, vom ursprünglichen S-Gehalt stark abhängig. Entschweflung kaum unter 10%.

Brennstoffverbrauch je nach S-Gehalt des Vorlaufes 3 bis 7% des Eintrages, daher weniger für S-reiches Material zu gebrauchen, zumal eine Verarbeitung der Röstgase auf Schwefelsäure wegen der vielen Arbeits-türen an der Peripherie nicht in Betracht kommt.

2. Schachtöfen.

Auch als „Schüttöfen“ bezeichnet. Die Fortbewegung des Gutes erfolgt ohne mechanische Einrichtungen lediglich durch die Schwere des Materials in einem mit Widerstandselementen ausgekleideten Schacht; dadurch wird der freie Fall verzögert, die erforderliche Röstdauer erzielt. Bedingungen für die Darbie-

tung einer großen Oberfläche sehr günstig, daher sehr intensive Abröstung unter starker Wärmeentwicklung, die nur schlecht regulierbar ist: für leicht sinterndes Material völlig unbrauchbar. Außerdem sehr starke Flugstaubentwicklung, daher wieder auf-



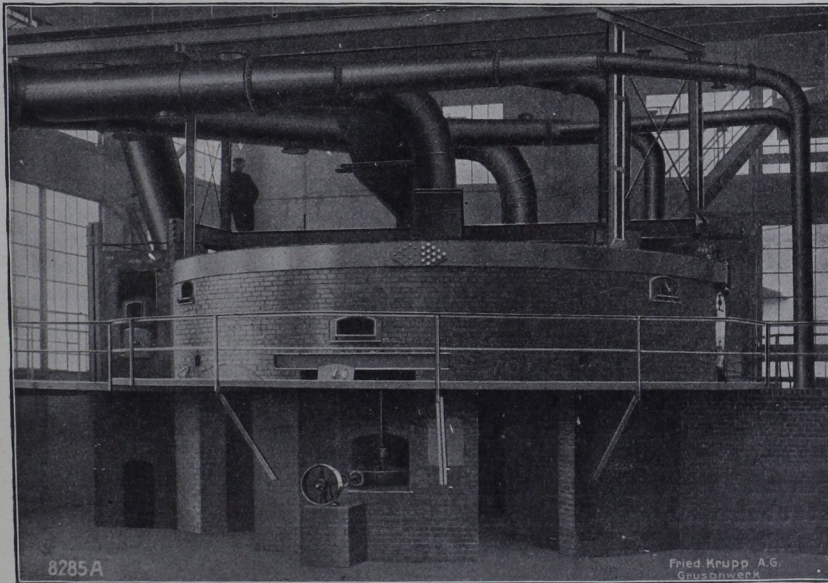
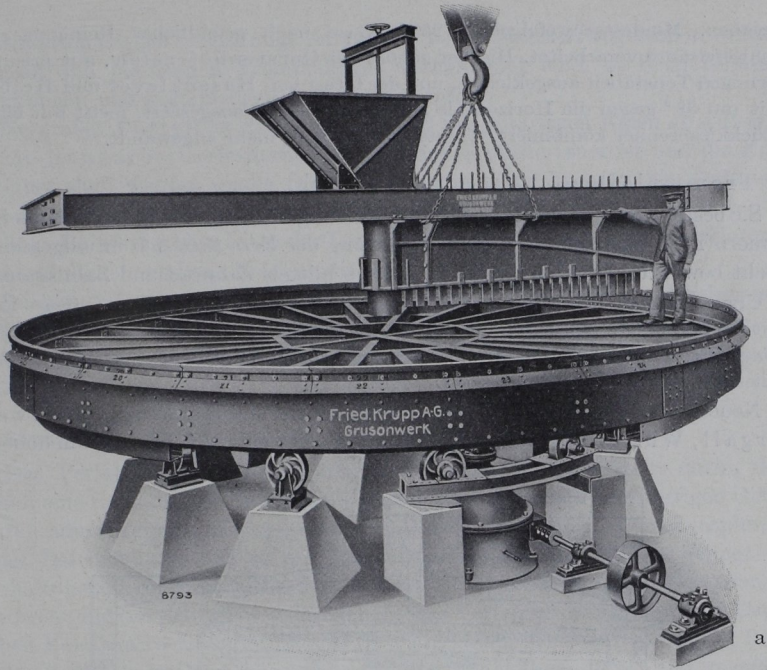


Fig. 90 a und b. Huntington-Heberlein-Rundofen; Eisenkonstruktion und Außenansicht; Ausführung von Krupp, Grusonwerk.

gegeben. Mindestschwefelgehalt 25%, Gase nach gründlicher Reinigung auf Schwefelsäure verarbeitet. Hierher gehört der Gerstenhöferofen, mit prismenförmigen Tonstäben ausgekleidet, und der Ofen von Hasenklever und Helbig, mit um 38° gegen die Horizontale geneigten Platten ausgesetzt, meist mit einem Stückiesbrenner kombiniert. Heute wohl nirgends mehr angewandt.

3. Trommelöfen.

Sie bestehen aus einer ganz oder teilweise ausgemauerten eisernen Trommel, im Innern manchmal mit Rippen zur Führung der Erze (hat sich im allgemeinen nicht bewährt). Drehbar gelagert, Antrieb mittels Zahnrad und Zahnkranz.

Ursprüngliche Ausführung (Brücknerofen) horizontal, am einen Ende mit Feuerung zur Entzündung der Beschickung und, falls erforderlich, zur Heizung. Beschickung und Austrag durch seitliche Mannlöcher; arbeitete diskontinuierlich, daher wieder aufgegeben.

Neuere Ausführungen (z. B. Ofen von Oxland und Hocking, von Howell, Argall, White [s. Fig. 64, S. 121] u. a.) geneigt gelagert. Eintrag am höheren

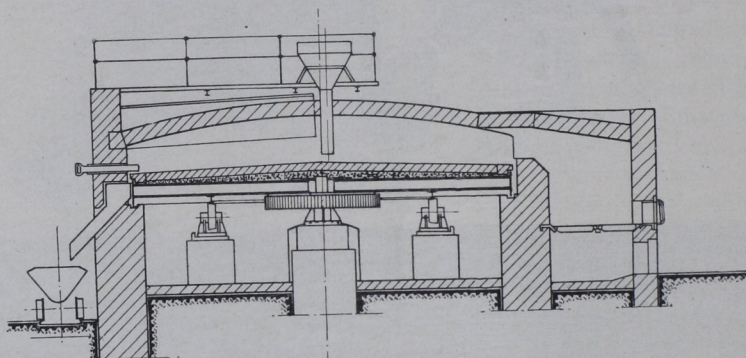


Fig. 91. Huntington-Heberlein-Rundofen; Schnitt; Ausführung der Maschinenbauanstalt Humboldt.

Ende, der Feuerung entgegengesetzt, kontinuierlich. Das in dünner Schicht den Boden bedeckende Gut wird durch die Drehung der Trommel je nach seinem Haftvermögen an der Wandung mehr oder weniger weit gehoben und stürzt bzw. rieselt schließlich wieder herab, so stets neue Bestandteile an die Oberfläche bringend; gleichzeitig erfolgt je nach der Neigung und der regelbaren Umdrehungsgeschwindigkeit raschere oder langsamere Wanderung nach dem Austragsende zu. Da die an der Oberfläche zur Entzündung gelangten Teilchen stets rasch wieder durch frische bedeckt und so der Oxydationsluft entzogen werden, ist es nicht möglich, ohne Zusatzfeuerung weitgehend abzurösten. Ein weiterer Nachteil besteht in der starken Flugstaubentwicklung, die allerdings durch sehr geringe Umdrehungsgeschwindigkeit und dadurch vermindert werden kann, daß der Apparat keine vollständigen Umdrehungen macht, sondern um eine Normallage pendelt (z. B. um 90° nach jeder Seite). Der Ofen ist ferner unbrauchbar für leicht backendes oder an den Wänden klebendes Material: es bilden sich an

bestimmten Stellen ringförmige Ansätze, die mechanisch abgestoßen werden müssen und bei langen Trommeln oft unzugänglich sind, zu Betriebsunterbrechungen und kostspieligen Reparaturen führen.

Ein großer Vorteil ist der Umstand, daß bei gutartigen Erzen so gut wie keine Handarbeit erforderlich ist. Wo daher solche teuer ist und die Erze geeignet sind, werden solche Öfen immer noch gerne benutzt. Sie sind auch zur chlorierenden Röstung von Silbererzen (s. d. S. 117 ff.) geeignet.

Ihre Leistung hängt von der Länge, dem Durchmesser, der Umdrehungsgeschwindigkeit und der Neigung ab.

Beispiel: Ofen von Oxland und Hocking. Länge 12,20 m, Durchmesser 1,22 m. Durchsatz/24 Stunden: 12 t, Abröstung mit Zusatzfeuerung von 25 auf 4% S. Brennstoffverbrauch 5% Steinkohle. Ein Arbeiter bedient je Schicht 2 Öfen.

4. Sinterapparate.

Das Verfahren der Sinter- oder Verblaseröstung besteht darin, daß durch eine ruhende, zur Entzündung gebrachte Schicht schwefelhaltigen Gutes Luft hindurchgepreßt oder -gesaugt wird. Dabei findet eine intensive Umspülung jedes Beschickungsteilchens mit Oxydationsluft statt, so daß es gelingt, in verhältnismäßig kurzer Zeit und ohne zusätzlichen Brennstoff sehr weitgehende Verbrennung des Schwefels zu erreichen. Das Verfahren wurde von dem Deutschen Ferdinand Heberlein und dem Engländer Huntington in der Bleihütte Pertusola in Oberitalien ausgearbeitet, unabhängig davon und ungefähr gleichzeitig von dem Deutschen Job in der Bleihütte Laurium (Griechenland), und anfänglich nur auf Bleierze angewandt; in seiner ursprünglichen Gestalt, meist als Huntington-Heberlein-Verfahren (engl. pot roasting) bezeichnet, verwandte man Gußeisenkessel mit doppeltem Siebboden oder einen niedrigen Schachtofen mit Planrost („Jobofen“), in denen das Gut auf eine Schicht glühenden Materials oder ein schwaches Zündfeuer unter gleichzeitigem Einblasen von Luft eingetragen wurde (vgl. „Röstung von Bleierzen“ Bd. II). Bei der in der Patentschrift gegebenen Erklärung der Vorgänge spielte die (zweifelhafte) Anwesenheit von Kalk (und die Bildung eines hypothetischen Calciumplumbates als Sauerstoffüberträger) sowie eine Vorröstung im Rundofen (s. S. 201), bei welcher der Kalk in Sulfat verwandelt wurde, eine ausschlaggebende Rolle. Später fand man, daß weder eine Zumischung von Kalk noch eine Vorröstung unbedingtes Erfordernis sind. Man gelangte vielmehr zu der Überzeugung, daß es in erster Linie die physikalische Beschaffenheit des der Sinterröstung unterworfenen Gutes ist, welche den Erfolg bedingt; d. h. die Beschickung muß so beschaffen sein, daß die Luft sie vollkommen gleichmäßig durchdringen kann, so daß keine Nester größeren Widerstandes vorhanden sind, die dazu führen, daß die Luft sich ihren Weg durch einzelne größere Kanäle sucht. Eine gleichmäßige und nicht zu geringe Korngröße (ca. 4 mm) erfüllt diese Bedingung am besten und um so besser, je runder die einzelnen Körner sind; durch die Vorröstung im Rundofen erreicht man nun außer einer guten Mischung, daß, vor allem bei den leicht sinternden Bleierzen, die feinsten, leicht zu Verstopfungen beim Verblasen führenden Teilchen

zu Granalien zusammensintern, was die günstige Wirkung der Vorröstung zum Teil erklärt¹⁾. Eine Auflockerung erzielt man ferner durch ein schwaches Anfeuchten der Beschickung infolge des Entweichens des gebildeten Wasserdampfes mit fortschreitender Erhitzung sowie neuerdings mit Vorliebe durch Zumengen granulierter Schlacke; ein beliebtes Auflockerungsmittel sind ferner die sog. Rückfälle (vgl. später).

Ferner ist es natürlich von allergrößter Bedeutung, daß die Öffnungen des Siebbodens stets vollkommen offen bleiben und nicht durch geschmolzene und wieder erstarrte Massen verstopft werden, da sonst der Prozeß ganz oder teilweise zum Stillstand kommt und das über den verstopften Stellen liegende Gut unverändert bleibt; denn die angewandten Windpressungen sind nicht so hoch, um den Widerstand geschmolzener Massen überwinden zu können. Auch darf die Temperatur nie so hoch steigen, daß ein massives Schmelzen eintritt, was dann der Fall sein kann, wenn der Gehalt der Beschickung an Brennstoff eine gewisse Grenze übersteigt. Es ist daher entweder dafür zu sorgen, daß der Schmelzpunkt der Beschickung so hoch liegt, daß die erzielten Temperaturen sie nicht zum Schmelzen bringen, was am besten durch einen Zusatz eines solchen Materials erreicht wird, das mit der Gangart schwer schmelzbare Verbindungen eingeht (Kalk, Kiesabbrände, Ofenbruch u. dgl.); oder es ist der Schwefelgehalt auf eine unschädliche Grenze herabzudrücken. Man kann dies dadurch erreichen, daß man den überschüssigen Schwefel durch Vorröstung entfernt oder ihn durch Zusatz schwefelfreien oder -armen Materials verdünnt. Wenn man bedenkt, daß wir Erz abrösten wollen und nicht Material, das ebensogut direkt in den Schmelzofen eingesetzt werden kann, daß solche Zusätze häufig vorher gemahlen werden müssen, und daß alle Zuschläge, die wir für die spätere Schlackenbildung nicht unbedingt brauchen, bei der Verschmelzung des Röstgutes unter Umständen selbst wieder verschlackende Zuschläge erfordern, kurz, daß man ganz prinzipiell nur solches Material durch die Röstapparate schicken soll, das abgeröstet werden muß, so sieht man ein, daß in den meisten Fällen die Entfernung überschüssigen Schwefels durch Vorröstung wirtschaftlicher ist, zumal der Rundofen mit seinem großen Durchsatz sehr billig arbeitet. Natürlich ist es hier, wie stets, notwendig, sich an Hand einer Kalkulation unter Zugrundelegung der zur Verfügung stehenden Erze, Zwischenprodukte und Zuschläge usw. über den besten einzuschlagenden Weg Klarheit zu verschaffen; dabei müssen alle eine Rolle spielenden Umstände berücksichtigt werden, so z. B. die zweifellos auch chemisch günstige Wirkung eines Kalkzusatzes sowie der Umstand, daß die Sinterröstung nicht nur zur Entschwefelung, sondern auch zur Stückigmachung feinen Gutes führt (s. unten).

Neben einer lockeren Beschaffenheit der Beschickung und der Vermeidung vorzeitigen Schmelzens ist noch ein dritter Umstand zu berücksichtigen: wirklich gutes, d. h. weitgehend entschwefeltes Röstgut erhält man nur dann, wenn es gelingt, die Beschickungsteilchen zum Sintern zu bringen; d. h. das fertige Produkt soll ein sog. „Agglomerat“ bilden, einen festen Kuchen von schwammiger, poröser Beschaffenheit, in dem die einzelnen Korngrenzen kaum mehr zu

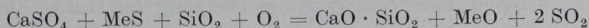
¹⁾ Bei reinen Kupfererzen wird die hierfür erforderliche Temperatur selten erreicht.

erkennen sind. Soweit diese Sinterung nicht stattgefunden hat, ist die Entschwefelung unvollkommen. Der Grund hierfür ist noch nicht eindeutig festgestellt.

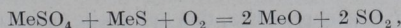
Zunächst könnte man annehmen, daß durch den Übergang der Beschickung in teigigen Zustand eine Verlangsamung des Luftdurchganges und damit eine innigere Berührung der einzelnen Teilchen mit Luft erreicht wird. Dem widerspricht jedoch die Beobachtung, daß, vor allem bei Bleierzen, die Abröstung auch dann trotz längeren Hindurchblasens von Luft unbefriedigend ist, wenn zwar Entzündung eintritt, so daß schließlich der ganze Inhalt des Apparates glühend wurde, aber ein Sintern aus irgendeinem Grunde nicht erfolgte. Da die erwähnte Erscheinung im Widerspruch zu den sonstigen Erfahrungen beim Rösten steht, so kann eine Erklärung nur auf Grund der Tatsache gesucht werden, daß bei dem verhältnismäßig groben Korn der Beschickung die zur Verfügung stehende Zeit nicht ausreicht, während im Falle des Sinterns in derselben Zeit genügende Abröstung eintritt, oder daß (bei Bleierzen) die Oxydationswirkung nicht weit genug in das Innere des Kornes vorzudringen vermag.

Dieser Umstand scheint darauf hinzudeuten, daß der günstige Erfolg der Sinter-röstung nicht allein auf die bekannten Reaktionen zwischen festen und gasförmigen Stoffen zurückzuführen ist, sondern daß hier noch andere, bei den übrigen Röstmethoden nicht in Betracht kommende Reaktionen mitspielen, für die der Übergang in den teigigen Zustand Voraussetzung ist. Man könnte daher geneigt sein, an Reaktionen zwischen sonst festen Körpern zu denken, die in festem Zustand infolge der geringen Berührungsflächen nicht oder nur in ganz untergeordnetem Maße zustande kommen. Hierauf deutet auch die Forderung einer sehr guten Mischung der Beschickungsbestandteile.

Hier sei vor allem an die Rolle des Kalkes erinnert; dieser geht ja beim Vorrösten in Sulfat über, das bei Anwesenheit von freier Kieselsäure nach der Gleichung



schon unter 800° stark entschwefelnd wirkt. Falls Vorröstung unterbleibt, findet Bildung von CaSO_4 unter dem Einfluß von SO_3 bzw. SO_2 und O_2 im Sinterapparat selbst, wenn auch wohl in geringerem Maße, statt. (Daß sich beim Sintern Ca-Silicat bildet, geht schon daraus hervor, daß zugesetzter Kalk nur dann im fertigen Agglomerat als solcher erkennbar ist, wenn im Überschuß vorhanden.) Da indessen der Röstprozeß auch ohne Kalk zufriedenstellend verlaufen kann (wenn auch die günstige Wirkung eines Kalkzusatzes — zumal im Zusammenhang mit Vorröstung — zweifellos ist), so müssen noch andere, in gleicher Richtung wirkende Reaktionen stattfinden. Vielleicht gibt die Tatsache einen Fingerzeig, daß längere Zeit gelagertes feuchtes vorgeröstetes Gut, bei dem also eine Sulfatisierung, vor allem von FeS, stattgefunden hat, viel besseres Röstgut liefert, als frisches; es ist daher vielleicht eine Reaktion von Sulfaten mit Sulfiden, etwa nach der Gleichung



die hier überhaupt die ausschlaggebende Rolle spielt.

Außerdem findet ohne Zweifel eine Unterstützung der oxydierenden Wirkung der Luft durch SO_2 statt, welches unter der Einwirkung von SiO_2 auf Sulfate (CaSO_4 usw.) bei höherer Temperatur frei wird. Jedenfalls wirkt die Anwesenheit von Sulfaten günstig, worauf ebenfalls der gute Einfluß einer Vorröstung in dem stark sulfatisierenden Rundofen zurückgeführt werden kann.

Während bei den bisher beschriebenen Röstprozessen die gleichzeitige Erfüllung der oben S. 184 aufgestellten Forderungen 4 und 5 (flotter Abtransport

der Röstgase und Vermeidung eines unnötigen Überschusses an Oxydationsluft) schwer möglich ist, können beide hier ohne weiteres erfüllt werden; ja, man erreicht die besten Resultate mit einer die theoretische kaum überschreitenden Windmenge, da infolge des raschen und zwangsläufigen Abtransportes der Röstgase auch eine sehr erhebliche SO_2 -Konzentration unschädlich ist und infolge des allmählichen Fortschreitens der Abröstung von der Entzündungsstelle aus die Röstgase in den noch weniger stark erhitzten Schichten stark sulfatisierende, daher günstige, Wirkung ausüben; vielleicht wirken die gebildeten Sulfate (und SO_3) in der heißesten Zone nicht nur chemisch günstig, sondern auch physikalisch derart, daß der bei ihrer Dissoziation stattfindende Wärmeverbrauch eine zu intensive Erhitzung, die zum Schmelzen führen könnte, verhindert.

Ob das bereits erwähnte Anfeuchten der Beschickung, das sich als außerordentlich wichtig erwiesen hat, noch eine andere Wirkung als die der Auflockerung hat, ist zweifelhaft; enthält das Gut Sulfate, die Kristallwasser aufzunehmen in der Lage sind, so könnte an ein Zusammenbacken der feinsten Teilchen gedacht werden, wobei mit zunehmendem Erhitzen durch Wiedertweichen des Kristallwassers ein poröses Skelett entsteht, das für Reaktionen zwischen festen Körpern in Anwesenheit von Luft die günstigsten Vorbedingungen schafft. — Jedenfalls steht ein Anfeuchten nicht im Widerspruch zu der Forderung einer Vortrocknung (S. 184), da eine solche ja vor Eintritt in die eigentliche Oxydationszone erfolgt.

Vorbedingungen für eine gute Sinterröstung sind also: Poröse, nicht zu feinkörnige, sehr gleichmäßig zusammengesetzte Beschickung; ein Gehalt an Brennstoff, welcher gerade ausreicht, das Röstgut zum Sintern, nicht aber zum Schmelzen zu bringen, bzw. eine Zusammensetzung des Gutes, die gestattet, daß dieses bei der erzeugten Temperatur sintert, aber nicht schmilzt; der Gehalt an leicht schmelzenden Sulfiden darf nur so hoch sein, daß ein massives Zusammen- oder Ausschmelzen derselben nicht erfolgt; die zugeführte Menge an Oxydationsluft soll die theoretisch erforderliche nur wenig überschreiten.

Ein Zusatz an Kalk ist, soweit die Zusammensetzung der Gangart es gestattet, günstig, jedoch nicht unbedingt erforderlich. Ein Überschuß an Kalk ist dann vor allem schädlich, wenn das fertige Röstgut längere Zeit lagert, da dann das gebildete Anhydrit oder CaO infolge Volumvergrößerung durch Wasseraufnahme das Agglomerat zum Zerfall bringt.

Eine einfache Überlegung ergibt, daß die Sinterröstung in erster Linie zum Totrösten (von Stein und Erz), zum Rösten von (Cu- und) S-armen Erzen sowie zum Agglomerieren von Flugstaub und anderen feinen Materialien in Betracht kommt, für S-reicheres Erz, das auf Stein verschmolzen werden soll, nur dann, wenn die Weiterbehandlung im Schachtofen erfolgt. Wie weit vorher abzurösten ist, hängt von der Zusammensetzung der schlackenbildenden Bestandteile und dem Gehalt an Sulfiden ab; bei Kupfererzen schwankt der zulässige S-Gehalt zwischen 10 und 18%. Für den Flammofen ist das Agglomerat weniger geeignet, da es vor der Aufgabe wieder zerkleinert werden muß, um dessen Fassungsvermögen voll auszunutzen.

Außer zur Abröstung S-haltigen Materials kann das Verfahren auch zum Stückigmachen S-freier, für die Verarbeitung im Schachtofen bestimmter feinkörniger

Materialien, z. B. von Messingaschen, dienen („Agglomerieren“ im engeren Sinne). Als Brennstoff dient dann, will man nicht mit S-haltigem Gut mischen, irgendein minderwertiges C-haltiges Material (Koks- oder Braunkohlenabrieb u. dgl.), von dem einige Prozente beigemischt werden müssen.

Von den zur Verfügung stehenden Apparaten kommt der im Kapitel „Blei“, Bd. II, näher behandelte Huntington-Heberlein-Sintertopf („Konverter“) hier kaum in Betracht; dagegen benutzt man den Dwight-Lloyd-Apparat, und zwar sowohl dessen geradlinige, ursprüngliche Ausführung als auch die von v. Schlippenbach abgeänderte Bauart.

Der Dwight-Lloyd-Apparat. Seine Anwendung bildet eine wesentliche Verbesserung des ursprünglichen Verblaseverfahrens, da er kontinuierlich ar-

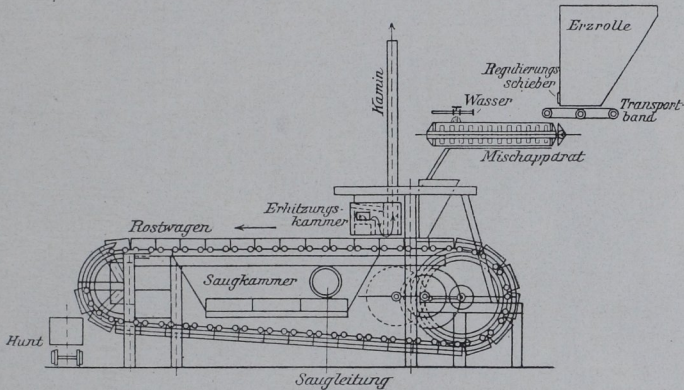


Fig. 92. Dwight-Lloyd-Apparat; geradlinige Ausführung; Schema. (Aus Neumann, Chem. Technologie und Metallurgie.) Das in den als „Erzrolle“ bezeichneten Vorratsrichter eingeführte Erz gelangt mittels Transportbande zusammen mit den erforderlichen Zuschlägen im vorgeschriebenen Verhältnis in die Mischschnecke, wo gleichzeitig eine Durchknetung mit Wasser erfolgt, von da durch einen kleineren Aufgabetrichter auf den Apparat.

beitet, die Luft nicht durch die Beschickung hindurchgeblasen, sondern gesaugt und dadurch ein Austreten schädlicher Röstgase vermieden wird, und da das erzeugte Agglomerat nicht wie dort einen großen, schwer zu zerkleinernden Klotz, sondern flache, leicht auseinanderbrechende Kuchen bildet; d. h. die Arbeit ist wesentlich billiger und weniger gesundheitsschädlich als bei dem ursprünglichen Verfahren. Dafür sind die Installationskosten ganz bedeutend höher. In Deutschland besitzt die Patente und damit das alleinige Ausführungsrecht die Metallbank und Metallurgische Gesellschaft A.-G., Frankfurt a. M., bzw. deren Tochtergesellschaft, die „Lurgi“-Apparatebau-G. m. b. H.

Die geradlinige Ausführung („Bandmaschine“, engl. straight line-machine; Fig. 92, 93). Sie besteht im wesentlichen aus einem Band ohne Ende, gebildet aus einzelnen, gelenkig miteinander verbundenen und in horizontaler Lage dicht aneinander anschließenden gußeisernen Kästen mit einem mit schlitzförmigen Sieböffnungen versehenen Boden, die langsam über eine dicht anschließende Saugkammer bewegt werden; die Saugkammer ist mit einem

kräftigen Exhaustor verbunden, dessen Leistung sich nach der in der Zeiteinheit zu verbrennenden Brennstoffmenge und dem zur Oxydation sonstiger Beschickungsbestandteile (z. B. Fe) erforderlichen Luftbedarf richtet; der nötige Unterdruck ist von der Schütthöhe und Porosität der Beschickung abhängig. Diese wird nach sorgfältiger, am besten maschineller Mischung (Rapsmischer) und Anfeuchtung durch einen am Eintragsende aufgehängten Trichter aufgegeben. Sie gelangt unmittelbar anschließend unter eine kräftige

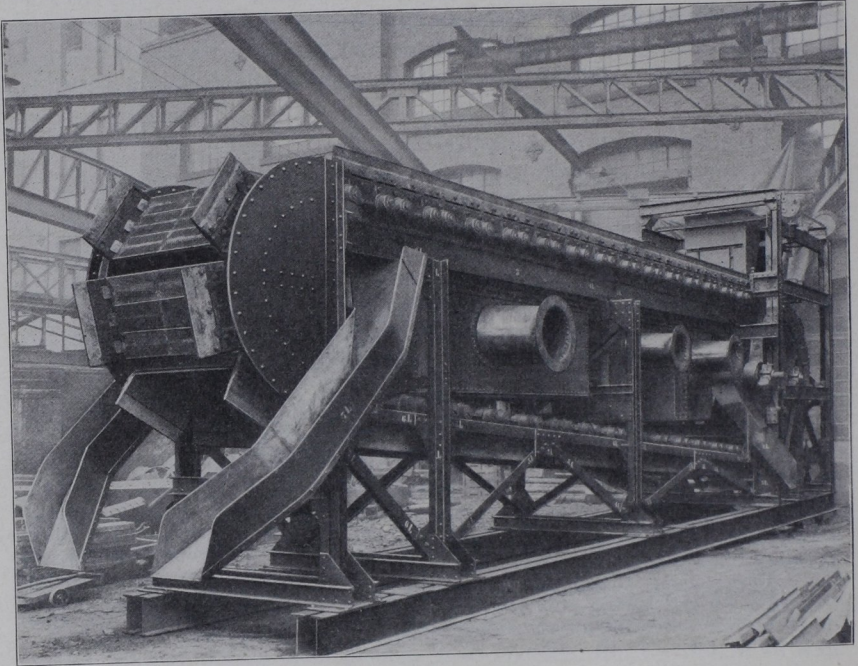


Fig. 93a. Fertig montierter Dwight-Lloyd-Apparat; geradlinige Ausführung der „Lurgi“, Ges. f. Chemie u. Hüttenw., Frankfurt a. M. Austragsende; man erkennt die fischgrätenartige Gestalt der Rostschlitze; die seitlichen Führungsrinnen sind für den Abtransport des zwischen den Kästen durchgefallenen Materials bestimmt.

Zündflamme und gleichzeitig wird mit dem Hindurchsaugen von Luft begonnen, so daß eine gute Entzündung an der freien Oberfläche erfolgt. Während nun das Gut unter ständigem Hindurchsaugen von Luft langsam nach dem Austragsende wandert, dringt die eigentliche Röstzone durch die gesamte Schicht bis zum Siebrost vor; gleichzeitig beginnt unter dem Einfluß der kalten angesaugten Luft die Abkühlung des fertigen Agglomerates, ebenfalls von oben nach unten fortschreitend, so daß die oberste Schicht bereits vollständig kalt sein kann, während im Innern noch lebhafte Oxydation stattfindet. Die Durchsatzgeschwindigkeit des Apparates soll so bemessen sein, daß, soll totgeröstet werden, das fertige Agglomerat am Austragsende beim Verlassen des Saugkastens vollkommen kalt ankommt; soll die Entschwefelung

nicht so weit gehen, so ist es hier im Innern und vor allem an der Unterseite noch glühend; um eine Belästigung der Arbeiter durch Röstgase möglichst zu vermeiden, muß daher dann vor dem Austrag eine intensive Kühlung mit Wasser erfolgen, die übrigens auch sonst zur Vermeidung von Staub zweckmäßig ist. Der Austrag des fertigen Produktes erfolgt automatisch beim Umbiegen der einzelnen Kästen um die Endscheibe, wobei meistens der erzeugte Kuchen abbricht; ist dies nicht der Fall, so muß mittels Hammer und Brechstange oder anderer Einrichtungen nachgeholfen werden. Über eine Rutsche

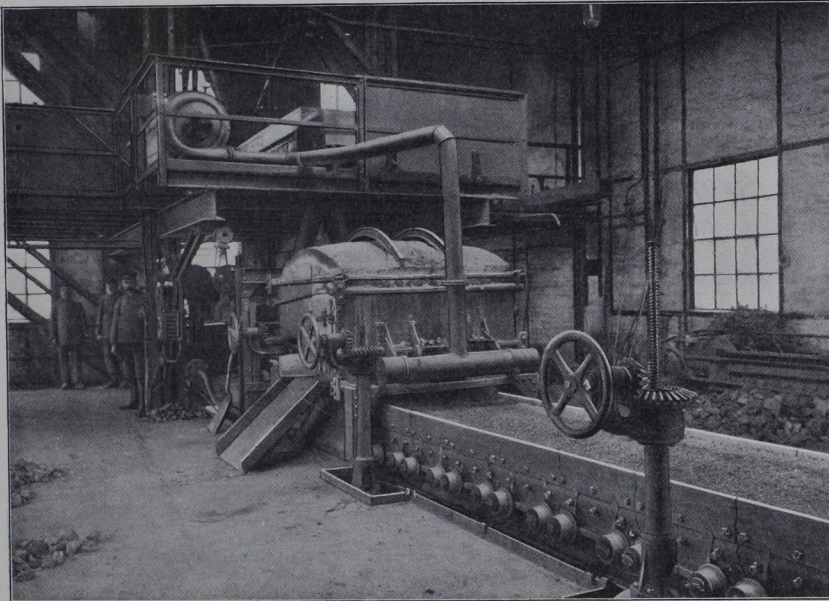


Fig. 93b. Geradliniger Dwight-Lloyd-Apparat in Betrieb; Blick auf den Zündofen.
(Erbauer: „Lurgi“ für Mansfeld A.-G.)

fallen dann die einzelnen Brocken in daruntergestellte Wagen. Die leeren Kästen wandern auf der Unterseite des Apparates wieder zurück, um am anderen Ende eine neue Ladung aufzunehmen.

Die Schütthöhe der Beschickung muß um so niedriger sein, je höher der Schwefelgehalt ist und je weiter die Abröstung gewünscht wird. Sie entspricht der Höhe der in der Bewegungsrichtung liegenden Unterkante des Aufgabetrichters über dem Siebrost; diese muß daher veränderlich sein (durch Heben und Senken einer die untere Trichtermündung umgebenden Manschette oder eines hier angebrachten Bleches). Um bei hohem Schwefelgehalt der Beschickung den Rost vor Angriff durch herausgeschmolzene Sulfide und vor Verstopfung zu schützen, gibt man in besonderen Fällen durch einen vor dem Erztrichter befestigten besonderen Trichter eine dünne Lage gemahlene Kalksteines unter die eigentliche Beschickung; auch granuliert Schlacke oder feines Röstgut tun zuweilen dieselben

Dienste. Der günstigste Feuchtigkeitsgehalt liegt zwischen 10 und 15%; er ist für jede Beschickung empirisch zu ermitteln, im allgemeinen soll das angefeuchtete Erz beim Drücken in der Hand schwach zusammenballen, ohne daß Wasser abläuft.

Die Zündung erfolgte früher bei Verarbeitung von vorgeröstetem Material häufig dadurch, daß man durch einen kleinen vor dem Erztrichter angebrachten Trichter eine dünne Schicht glühenden Röstgutes auf die Beschickung auftrug. So gut an und für sich dieser Gedanke, jeglichen Brennstoff zu sparen, ist, so wenig bewährte er sich in der Ausführung, da die Zündung infolge Erkalten des Röstgutes sehr häufig mangelhaft war und das dann notwendige Ausräumen und Wiederfüllen des Zündtrichters unangenehme Stillstände zur Folge hatte. Heute zündet man ganz allgemein mittels eines besonderen Ofens mit Planrost und Unterwind (Fig. 94), in

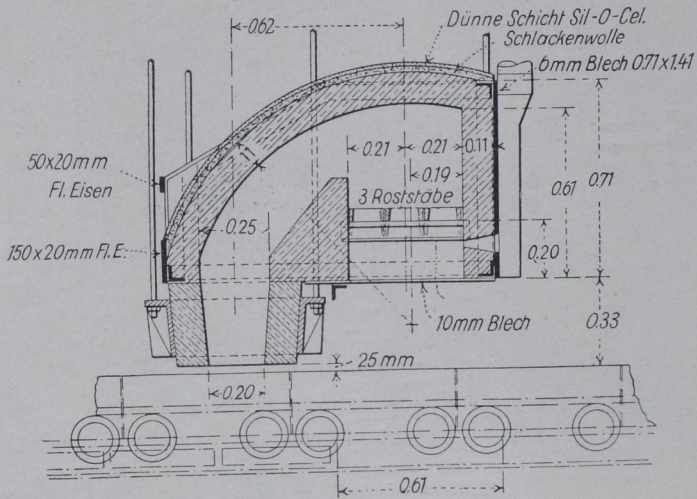


Fig. 94. Zündofen für geradlinigen Dwight-Lloyd-Apparat; mit Koksfeuerung. (Aus Eng. and Mg. Journ. Bd. 122, 1926.) Maße in m.

dem zur Vermeidung von Qualm und zur Erzielung einer möglichst heißen Flamme Koks verbrannt wird (ca. 1 bis 2% der erzeugten Agglomeratmenge), oder die Zündung erfolgt durch Gas, Öl oder Kohlenstaub.

Die Röstgase sind sehr ungleichmäßig zusammengesetzt, je nachdem, in welcher Entfernung von der Zündstelle sie entstehen. Ihr SO_2 -Gehalt steigt anfangs rapide an, um in einer bedeutend flacheren Kurve bald wieder abzunehmen. Es sind daher nur die ersten Kästen hinter der Feuerung, welche ein Gas liefern, das für die Schwefelsäuregewinnung brauchbar ist, und man kann durch Unterteilung des Saugkastens und Arbeiten mit zwei getrennten Exhaustoren und Gasleitungen einen verhältnismäßig großen Bruchteil des verbrannten Schwefels in Gestalt konzentrierter Röstgase absaugen und auf Schwefelsäure verarbeiten; der Rest der Röstgase ist verhältnismäßig unschädlich und kann im allgemeinen durch die Esse entweichen. Unangenehm ist dabei nur, daß die stark sauren Gase auch das gesamte zur Anfeuchtung verwandte Wasser in Dampfform enthalten und daher nur eine verdünnte Säure liefern. Um die Exhaustoren vor raschem Verschleiß durch mechanisch mitgerissenen Flugstaub zu bewahren, ist es erforderlich, davor eine kleine Staubkammer mit weit herabgehender Scheidewand anzubringen.

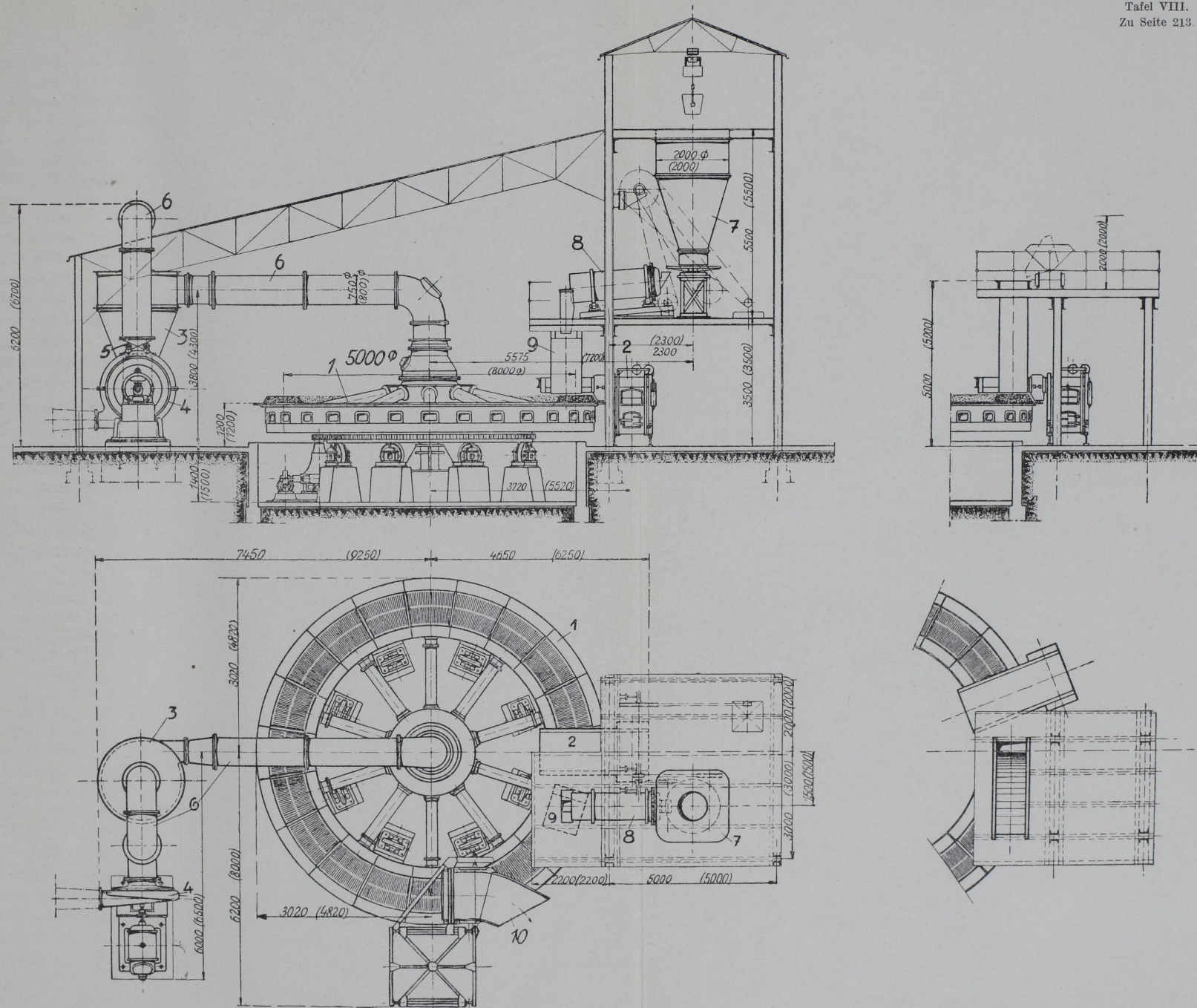


Fig. 95 a. Dwight-Lloyd-von Schlippenbach-Sintermaschine; Grund- und Aufriß. (Erbauer: „Lurgi“, Ges. f. Chemie und Hüttenwesen, Frankfurt a. M.)
Größe I (5000 mm Dm.): offene Maße; Größe II (8000 mm Dm.): Maße in Klammern. — 1. Apparat; 2. Zündofen; 3. Staubabscheider; 4. Gebläse; 5. Gas-
schieber; 6. Rohrleitung bis Exhaustor; 7. Vorratstasche mit Teller aufgeber; 8. Misch- und Anfeuchttrommel; 9. Aufgabetrichter; 10. Abwurfpflug

Neuerdings ist es — allerdings bei einem Schlippenbachapparat — gelungen, Röstgase mit bis über 15% SO_2 aus den ersten Kammern dadurch zu gewinnen, daß man diese mit einem Exhaustor verbindet, der in der Lage ist, die für die gesamte Verbrennung theoretisch erforderliche Luftmenge anzusetzen.

Die Rostsiebe gehören zu den empfindlichsten Teilen des Apparates, da sie durch geschmolzene Sulfide stark angegriffen und außerdem häufig durch solche und Beschickungsbestandteile verstopft werden. Ihre bequeme Reinigung und Austauschbarkeit ist daher von großer Wichtigkeit. Es gibt eine Menge von Ausführungsformen (Platten mit quergestellten oder in Form von Fischgräten angeordneten, konisch sich nach unten erweiternden usw. Schlitzen, einzelne kurze Roststäbe usw.); eine gute automatische Reinigung erzielt man, wenn man die einzelnen Kästen am Austragsende beim Abwärtsgehen auf eine eiserne Unterlage aufprellen läßt.

Der Durchsatz kann bis zu 150 t/24 Std. und darüber steigen; er ist abhängig von der Länge des Apparates, der Kastenbreite, dem S-Gehalt der Beschickung, der gewünschten Entschweflung, diese wiederum von der (regelbaren) Geschwindigkeit, der Leistungsfähigkeit des Exhaustors, der Schütthöhe. Gesamtlänge der Rostfläche: bis 9,50 m; Breite: 0,75 bis über 1,00 m; Anzahl der Kästen: 36 bis 42; Fahrgeschwindigkeit: 0,17 bis 0,50 m/Min.; Kraftbedarf des Apparates: 3 PS, eines 500 cbm-Exhaustors: 125 PS.

Häufig wird das erzeugte Agglomerat abgeseiht bzw. die Austragschurre ist als Stabrost ausgebildet, das Feine wandert als „Rückfälle“ in den Betrieb zurück, dient als wertvolles Auflockerungsmaterial für die Beschickung. Die Menge an Rückfällen, bezogen auf die Menge an gutem Agglomerat, ist für die Güte der Arbeit maßgebend; sie soll nicht mehr als 12% betragen. Ist ihre Menge gering, so können sie meist ohne weiteres in den Schachtöfen mit zugegeben werden.

Beispiel: Anlage der Calaveras Copper Co. zu Copperopolis, Cal. Verarbeitet werden rohe Konzentrate von der Flotation, Flugstaub und eigene Rückfälle (zur Auflockerung der sehr feinkörnigen Beschickung) und, wenn deren Menge nicht ausreicht, gemahlener Quarz, Kalkstein oder Schlacke. Kalkzusatz erfolgt bei einem S-Gehalt der Beschickung von 18% ab. Durchsatz auf einem Apparat von 1,07 m Rostbreite: 100 t. Das Agglomerat passiert einen Rost von 18 mm Spaltweite und enthält 16% Cu, 7% S, 25% Fe (als Fe_2O_3 oder Fe_3O_4) 18% SiO_2 .

Da ursprünglich eine gute Abdichtung der Kästen gegen den Saugkasten große Schwierigkeit verursachte, entstanden auch Konstruktionen mit feststehenden Röstbetten und beweglichem Zündofen (Pennaroya), die sich jedoch nicht bewährten.

Die Ausführung von v. Schlippenbach [„Tischmaschine“; Konstrukteur: v. Schlippenbach, früher Direktor der Bleihütte Binsfeldhammer zu Stolberg, Rhld.; Fig. 95¹⁾]. Die einzelnen Kästen sind starr zu einem horizontalen Ring vereinigt, der um eine vertikale Welle drehbar ist. Ihre obere Außenwand fiel später ganz weg, so daß ihr oberer Teil jetzt nach außen offen ist. Jeder Kasten ist durch ein Saugrohr mit einem neuerdings nach unten führenden Zentralrohr verbunden, das durch eine Stopfbüchse mit dem zum Exhaustor führenden feststehenden Hauptabsaugrohr verbunden ist; so ist die Schwierigkeit der gasdichten Verbindung zwischen den beweglichen und feststehenden Teilen sehr einfach gelöst. Innerhalb des Verbindungsstückes beider befindet sich

¹⁾ A. f. S. und Tafel VIII.

noch eine Einrichtung, welche die getrennte Abführung der reichen Gase der ersten Kammern hinter dem Zündofen durch eine getrennte Leitung mit besonderem Exhaustor gestattet. Beschickung und Zündung erfolgen wie bei dem vorigen. Austrag durch eine kurz vor dem Aufgebrietricher angebrachte, schräg-stehende, sehr kräftig konstruierte pflugförmige Gußeisenplatte (den „Pflug“), welche den Agglomeratkuchen von den Rostplatten abhebt, so daß er infolge der Bewegung des Tellers sich hochschieben und nach außen geführt werden kann, wo er, in einzelne Stücke zerbrochen, in die Transportwagen fällt. Umdrehungsgeschwindigkeit: 1 Umdrehung in $\frac{3}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Stunden, regelbar. Die

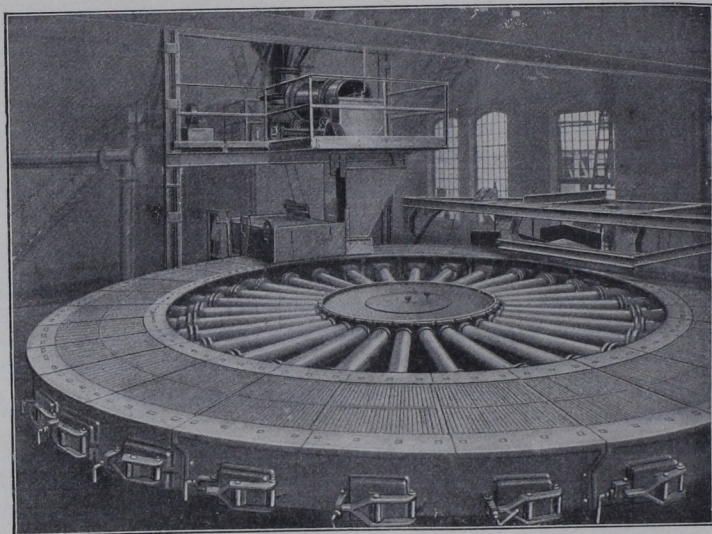


Fig. 95 b. Dwight-Lloyd-von Schlippenbach-Apparat; neueste Ausführung mit Gasabzug nach unten; Ansicht. (Erbauer: „Lurgi“.)

Reinigung der Roste muß hier von Hand erfolgen. Leistung eines Apparates von 8 m Durchmesser: 60 bis 120 t Agglomerat in 24 Stunden; Bedienung (ohne Transporte): 1 bis 2 Mann je Schicht.

Die Konstruktion besitzt gegenüber dem geradlinigen Apparat, mit dem er auch bezüglich des Betriebes weitgehend übereinstimmt, den Vorteil einer besseren Ausnutzung der Herdfläche und einer einfacheren Abdichtung der beweglichen gegen die feststehenden Teile. Nachteil: Größerer Platzbedarf, umständlicherer Austrag, fällt vor allem bei Erzeugung schlechten Agglomerates mit viel Rückfällen ins Gewicht.

Beispiel: Norddeutsche Affinerie, Hamburg. Äußerer Durchmesser 8,00 m; wirksame Saugfläche (Röstfläche) 18 qm. 10 Saugkästen mit je 3 Abzugsröhren. Windmenge des Exhaustors 400 cbm/Min. von 150°. Unterdruck im Saugkasten je nach Beschickungshöhe und Dichte 300 bis 400 mm WS.

Zündung: Koksfeuerung mit Unterwind, Koksverbrauch 1,5 bis 2% des erzeugten Agglomerats.

Kraftverbrauch: Für den Apparat selbst ca. 2 PS, für den Exhaustor 60 bis 70 PS.

Leistung in 24 Stunden: 90 bis 100 t Pb-haltiges Kupfererz oder Stein (Zuschläge nicht gerechnet) ohne Vorröstung; ergibt ca. 10% Rückfälle, die zurückgehen; Abröstungsgrad: ca. 60 bis 70% des Schwefelinhaltes der Mischung.

In den Vereinigten Staaten kennt man nur die geradlinige Bauart, während in Deutschland mehr die Tischmaschinen bevorzugt werden.

II. Die Schmelzarbeit.

Die Herstellung des Steines unter gleichzeitiger Abscheidung der Gangart in Gestalt absetzbarer Schlacke erfolgt durch einen Schmelzprozeß; dabei unterscheidet man wieder verschiedene Methoden:

1. Verschmelzen nach erfolgter Abröstung (in einem der unter I. genannten Apparate).
 - a) Im Schachtofen in stark reduzierender Atmosphäre („reduzierender Schachtofenprozeß“).
 - b) Im Flammofen in mehr neutraler Atmosphäre („Flammofenprozeß“).
2. Verschmelzen und Abrösten in ein und demselben Apparat [Schachtofen¹⁾].
 - a) Verschmelzen und Abrösten erfolgen gleichzeitig („Pyritschmelzen“).
 - b) Verschmelzen und Abrösten erfolgen nacheinander („halbpyritisches Schmelzen“).

Allgemeine Bemerkung: Das reine Pyritschmelzen wird heute wohl nirgends mehr ausgeführt; das Halbpyritschmelzen kann nur auf reinen, derben, kupferhaltigen Pyrit mit wenig Gangart angewandt werden. Alle übrigen hier in Betracht kommenden Erze sind nach einem der unter I. genannten Verfahren zu verarbeiten; dabei gibt man, soweit amerikanische Verhältnisse mit großen Durchsatzmengen in Betracht kommen, dem Flammofenprozeß den Vorzug, während in Deutschland das reduzierende Verschmelzen von Röstgut im Schachtofen üblich ist.

a) Der reduzierende (deutsche) Schachtofenprozeß.

Um dem eingeblasenen Wind und den daraus entstandenen Gasen die Möglichkeit einer gleichmäßigen Durchdringung des Ofeninhaltes zu geben und um Störungen infolge von Verstopfungen und Ansätzen zu vermeiden, soll der Schachtofen prinzipiell nur mit stückigem Material beschickt werden; es kommt hierfür also nur das Produkt der Sinterröstung in Betracht (abgesehen von dem der Röstung von stückigem Gut); ferner gibt man in diese Arbeit alle im Betrieb einer Kupferhütte fallenden armen kupferhaltigen Zwischenprodukte, soweit sie stückförmig sind und nicht die Röstung passieren müssen, und schließlich unter Umständen noch so viel rohes Stückerz, als zur Erzielung des gewünschten Kupfergehaltes im Stein erforderlich ist.

Die Beschickung eines Schachtofens enthält also neben unveränderten Sulfiden Oxyde und Sulfate, Arsenide und Arsenate, Silicate und Ferrite des

¹⁾ Hierher gehört strenggenommen auch das Verblasen von Erz nach dem Knudsenverfahren (s. S. 283).