

Die Silicatschlacken sind im allgemeinen komplexe Lösungen und Gemenge von verschiedenen Silicaten, von Verbindungen solcher untereinander und von überschüssiger  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  usw. mit im allgemeinen um so niedrigerem Schmelzpunkt, je mehr Komponenten sie enthalten; daneben wird der Schmelzpunkt durch die Silizierungsstufe und die darin enthaltenen Basen bestimmt.

Bei rascher Abkühlung bilden sie sog. Gläser, d. h. sie zeigen infolge starker Unterkühlungserscheinungen keinen wohldefinierten Erstarrungspunkt und sind dann stets durchscheinend, in dünner Schicht auch wohl durchsichtig. Bei sehr langsamer Abkühlung „versteinen“ sie, d. h. es scheiden sich aus den instabilen unterkühlten Lösungen die einzelnen Komponenten in stabiler, kristalliner Form aus, das Glas geht in eine basaltartige Masse von bedeutender Zähigkeit und Bruchfestigkeit über.

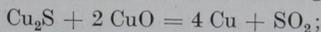
Die die Kupferschlacken bildenden Bestandteile sind in der Hauptsache FeO- und CaO-Silicate, und zwar je nach der bei ihrer Bildung herrschenden Temperatur und dem Verhältnis Basen zu  $\text{SiO}_2$  als Singulo- oder Bisilicate. Daneben spielen auch noch andere Basen, wie ZnO, MgO, MnO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  usw. eine unter Umständen nicht unerhebliche Rolle. Man nimmt heute an, daß die alkalischen Erden, CaO und MgO, bei den normalen Ofentemperaturen stets Bisilicate, die Schwermetallbasen, soweit überhaupt Silicate entstehen, in Schlacken von mittlerer Azidität Singulosilicate bilden. Infolge der Mannigfaltigkeit der schlackenbildenden Bestandteile und der Fähigkeit der Silicate, Doppel- und Mehrfachsilicate zu bilden, ist es sehr schwierig, wohldefinierte Verbindungen festzustellen; trotzdem sind wahrscheinlich nur solche<sup>1)</sup> vorhanden, und die vielen Silizierungsstufen, mit denen man früher rechnete, existieren nicht.

Näheres über die Rolle der einzelnen Schlackenbestandteile und deren Einfluß auf die Eigenschaften der Schlacke bei der Kupferverhüttung vgl. Abs. „Schachtofenbetrieb“.

Die spez. Wärme der Schlacken kann mit ungefähr 0,17, die latente Schmelzwärme mit ca. 50 Kal./kg angenommen werden.

### Die Arbeitsmethoden.

Wie wir bereits oben (S. 166) hörten, ist der trockene Weg grundsätzlich auf Aufbereitungsprodukte und reiche Erze anzuwenden. Er bezweckt die Herstellung eines Schwarzkupfers, das möglichst den gesamten Kupfer- und Edelmetallinhalt des Erzes enthält, während die Gangart (zu der hier auch die Eisenverbindungen gehören) in Gestalt einer möglichst kupferarmen Schlacke abzuschneiden ist. Der nächstliegende Weg wäre ein Totrösten des Erzes mit anschließendem reduzierendem Verschmelzen der gebildeten Kupfer-Sauerstoffverbindungen, also die Anwendung der „Röstreduktionsarbeit“; daneben käme noch die „Röstreaktionsarbeit“ in Betracht, d. h. ein teilweises Abrösten mit anschließendem Verschmelzen des Röstgutes, wobei als Reduktionsmittel für die Kupfer-Sauerstoff-Verbindungen der Schwefelgehalt noch vorhandener Schwefelverbindungen wirkt, z. B. nach der Gleichung:



natürlich ließe sich derselbe Zweck durch Verschmelzen von totgeröstetem, also praktisch schwefelfreiem, Erz mit Roherz erreichen.

<sup>1)</sup> bzw. deren Eutektika.

Es hat sich jedoch herausgestellt, daß es im allgemeinen nicht zweckmäßig ist, sofort auf metallisches Kupfer hinzuarbeiten, da es unmöglich ist, neben solchem eine Schlacke von wirtschaftlich befriedigend niedrigem Kupfergehalt zu erzeugen. Hinzu kommt der auch bei guter Aufbereitung immer noch recht geringe Kupfergehalt der Erze. Der Erfolg wäre die Erzeugung einer großen Menge reicher Schlacke und damit ein unverhältnismäßig hoher Verlust an verschlacktem Kupfer bzw. eine sehr kostspielige Repetition (Wiederverschmelzung) der erzeugten Schlacken.

Bei Verarbeitung von einem Erz mit 15% Cu erhalte man beispielsweise 60% des Erzgewichtes an Schlacke mit 0,6% Cu = 0,36 kg verschlacktes Cu auf 15 kg Cu im Vorlauf = 2,4% Kupferverlust; dieser steigt für ein Erz mit 8% Cu auf 4,5% und bei einer Schlackenmenge von 80% des Erzes auf 6%.

Man hilft sich daher in der Weise, daß man zunächst ein Konzentrations-schmelzen durchführt, bei dem noch nicht metallisches Kupfer, sondern ein an Kupfer angereichertes Cu—S-Produkt, sog. „Stein“ (engl. matte), erzeugt wird unter gleichzeitiger Abscheidung der Hauptmenge der Gangart in Form einer armen absetzbaren Schlacke mit ca. 0,3% Cu. Solange nämlich dem Kupfer beim Schmelzen noch mindestens so viel Schwefel zur Verfügung steht, als zur Bildung von  $\text{Cu}_2\text{S}$  erforderlich ist, findet dessen Verschlackung nur in äußerst geringem Maße statt. Dies erklärt sich aus der großen Verwandtschaft des Cu zum S, welche die aller hier in Betracht kommenden Metalle (mit Ausnahme des Mn) übertrifft und zur Folge hat, daß das Kupfer, gleichgültig in welcher Verbindungsform vorhanden, stets in erster Linie den Schwefel an sich reißt.

In dem oben angeführten Beispiel würde dann der prozentuale Kupferverlust in der Schlacke nur etwa die Hälfte betragen und da der erzeugte Stein aus noch zu erläuternden Gründen stets noch nicht unerhebliche Mengen an Eisen enthält, die fallende Schlackenmenge also geringer ist, tatsächlich noch weniger.

Man hat so allerdings noch kein metallisches Kupfer erzeugt; indessen schadet es nicht allzuviel, wenn die bei der Weiterverarbeitung des Steines fallende Schlacke reich ist, da ihre Menge relativ gering sein wird und die durch ihre Repetition zum Zwecke der Entarmung aufzuwendenden Kosten in keinem Verhältnis zu dem Wert des Plus an gewonnenem Metall stehen.

Natürlich gibt es eine kalkulatorisch genau feststellbare obere Grenze des Kupfergehaltes im Erz, bei der die Kosten für die Weiterverarbeitung des Steines und der dabei fallenden Schlacke den Metallgewinn ausgleichen; indessen sind so reiche Erze oder Aufbereitungsprodukte nicht häufig und werden ihrer geringen Menge wegen kaum je für sich verarbeitet werden.

Die Methode der Herstellung von an Kupfer angereichertem Stein (Kupferstein), beruht ebenfalls auf der großen Affinität dieses Metalles zu Schwefel: Entfernt man den Schwefelinhalt des Erzes (durch Rösten) so weit, daß er gerade noch der zur Bildung von  $\text{Cu}_2\text{S}$  erforderlichen Menge entspricht, so erhält man beim anschließenden Verschmelzen einen Stein, der das gesamte Kupfer<sup>1)</sup> als Sulfür enthält. Ist die Schwefelmenge im Röstgut größer, so enthält der Stein auch noch Eisen (als  $\text{FeS}$ ), welches nächst

<sup>1)</sup> Abgesehen natürlich von der Menge, welche in die Schlacke geht.

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  $\text{Cu}_2\text{S}$  auch noch  $\text{FeS}$  in mehr oder weniger großer Menge. Der Rest des Eisens geht dann beim Verschmelzen als Eisen-Sauerstoff-Verbindung ( $\text{FeO}$ ) 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.