

4. Flächenmaße:

1 sq. inch	=	6,45 qcm
1 sq. foot	=	0,0929 qm
1 sq. yard	=	0,8361 qm
1 acre	=	40,4671 ar
1 sq. mile	=	258,989 ha

5. Körpermaße:

1 cubic inch	=	16,3862 ccm
1 cubic foot	=	0,0283 cbm
1 cubic yard	=	0,7645 cbm
1 round ton	=	1,1326 cbm
1 shipping ton	=	1,1892 cbm
1 cord	=	3,6244 ccm
1 United States standard Gallon = 231 cub. inch	=	3785,3 ccm = 3,785 l

6. Andere Maße:

1 lb./sq. inch = 51,7 mm HgS. ¹⁾	=	70,31 cm WS. ²⁾ /qcm	=	0,0703 kg/qcm
1 oz./sq. inch = 3,23 „ „	=	4,39 „ „		
24 ozs./sq. inch = 100 cm WS. ²⁾ /qcm				
1 lb./cub. foot	=	16 kg/cbm		
1 B.T.U./lb.	=	0,555 WE/kg		
1 Amp./sq. foot	=	10,764 Amp./qm.		
1 H.P. (horse power)	=	1,014 PS.		

Beispiele von Beschickungsberechnungen für die reduzierende Steinarbeit im Schachtofen.

(Anlage II, zu S. 235.)

Das zur Verfügung stehende **Erzgemisch** habe folgende Zusammensetzung: **9,0% Cu; 20,5% S; 30,5% SiO₂; 24,5% Fe; 2,5% CaO; 2,0% Al₂O₃; 1,5% Zn.**

Der zu erzeugende **Stein** soll enthalten: **42,0% Cu, 29,0% Fe, 28,5% S.**

Als **Zuschläge** stehen zur Verfügung:

Konverterschlacke mit **2,0% Cu; 36,0% SiO₂; 42,0% Fe; 4,0% CaO; 3,0% Al₂O₃; 1,5% Zn.**

Kalkstein mit **52,0% CaO; 6,0% SiO₂.**

1. Die zu erzeugende Schlacke soll **42% SiO₂, 34,8% FeO (= 27,0% Fe), 12,0% CaO** enthalten.

1000 kg Erz enthalten 90 kg Cu, denen im Stein $\frac{90,0 \cdot 29,0}{42,0} = 62,1$ kg Fe

entsprechen; diese Menge geht für die Schlackenbildung verloren, 1000 kg Erz enthalten daher nur noch $245,0 - 62,1 = 182,9$ kg Fe, die für die Schlacke zur Verfügung stehen.

¹⁾ HgS. = Quecksilbersäule; 1 mm HgS. = 1,316 cm Wassersäule.

²⁾ WS. = Wassersäule; 100 cm WS. = 1/10 at.

Auf 305 kg SiO_2 im Erz sollen zur Erzeugung von Schlacke der gewünschten Zusammensetzung kommen: $\frac{305,0 \cdot 27,0}{42,0} = 196,1$ kg Fe, $\frac{305,0 \cdot 12,0}{42,0} = 87,1$ kg CaO; es fehlen daher und sind in Gestalt von Zuschlägen zuzufügen: $196,1 - 182,9 = 13,2$ kg Fe und $87,1 - 25,0 = 62,1$ kg CaO.

In 1000 kg der Konverterschlacke (als Eisenzuschlag) entsprechen 20 kg Cu $\frac{20,0 \cdot 29,0}{42,0} = 13,8$ kg Fe, die in den Stein gehen, und 360,0 kg SiO_2 entsprechen $\frac{360,0 \cdot 27,0}{42,0} = 231,4$ kg Fe, die in der gewünschten Schlacke bereits

durch SiO_2 gebunden sind; es sind also für die Verschlackung von SiO_2 im Erz nur noch $420,0 - (13,8 + 231,4) = 174,8$ kg Fe verfügbar. Den 13,2 kg Fe, die wir noch für 1000 kg Erz benötigen, entsprechen also $\frac{13,2 \cdot 1000}{174,8} = 75,5$ kg

Konverterschlacke, die wir zur Sicherheit und um dem geringen SiO_2 -Gehalt des Kalksteines Rechnung zu tragen, auf 80 kg erhöhen. Durch diese Menge erhöht sich der SiO_2 -Gehalt der Beschickung um 28,8 auf 333,8 kg, die insgesamt $\frac{333,8 \cdot 12,0}{42,0} = 95,4$ kg CaO erfordern; auf dieses Gewicht erhöht sich also die oben zu 87,1 kg ermittelte Menge an fehlendem CaO; da die Konverterschlacke aber selbst CaO enthält, so ermäßigt sich der genannte CaO-Bedarf, außer um den CaO-Gehalt des Erzes von 25,0 kg, auch noch um 3,2 kg auf 67,2 kg.

In 1000 kg Kalkstein entsprechen 60 kg SiO_2 $\frac{60,0 \cdot 12,0}{42,0} = 17,1$ kg CaO, es sind also $520,0 - 17,1 = 502,9$ kg für die Schlackenbildung frei; den benötigten 67,2 kg CaO entsprechen daher $\frac{67,2 \cdot 1000}{502,9} = 133,6$, rund 134 kg Kalkstein.

Wir erhalten dann folgende Beschickung:

	Cu	SiO_2	Fe	CaO	Al_2O_3	Zn
auf 1000 kg Erz mit	90,0	305,0	245,0	25,0	20,0	15,0 kg
80 „ Konvertersch.	1,6	28,8	33,6	3,2	2,4	1,2 „
134 „ Kalkstein	—	8,0	—	69,7	—	— „
Sa. 1214 kg mit	91,6	341,8	278,6	97,9	22,4	16,2 kg
erg. Stein 218 kg mit	91,6	—	63,2	—	—	— „
Schlacke 809 „ „	—	341,8	215,4	97,9	22,4	16,2 „
entspricht %	—	42,2	26,6	12,1	2,8	2,0
			= 34,3% FeO			= 2,5% ZnO

Die Menge der erzeugten Schlacke ergibt sich aus dem Verhältnis $\text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{CaO}$ zu 100 in der Schlacke von der gewünschten Zusammensetzung im Vergleich zu den entsprechenden Mengen in der Beschickung. Die gefundenen Werte stimmen wegen des bei Berechnung des Eisenzuschlages nicht berücksichtigten SiO_2 -Gehaltes des Kalkes nicht ganz genau mit den gewünschten überein, indessen spielen derartig geringe Abweichungen keine Rolle und lassen sich

leicht durch eine geringe Erhöhung des Eisenzuschlages korrigieren. — Den Cu-Gehalt der Schlacke kann man bei solchen Berechnungen im allgemeinen vernachlässigen.

Eine wesentlich genauere Berechnungsmethode, die jedoch schon bei nur 3 Beschickungsbestandteilen für den praktischen Gebrauch viel zu umständlich ist, beruht auf der Aufstellung von Gleichungen für X , die erforderliche Menge an Konverterschlacke, und Y , die erforderliche Menge an Kalk: Die in Gestalt von 1000 kg Erz, X kg Konverterschlacke und Y kg Kalkstein eingeführten Mengen an Fe und CaO müssen gleich sein der gewünschten Menge an Fe bzw. CaO zuzüglich dem durch die gleichzeitig eingeführte SiO_2 bedingten Mehrbedarf. Man erhält dann die beiden Gleichungen:

$$\begin{aligned} 182,9 + 0,1748 X &= 196,1 + \frac{27}{42} 0,06 Y \\ 25,0 + 0,04 X + 0,5029 Y &= 87,1 + \frac{12}{42} 0,36 X . \end{aligned}$$

Man erhält dann für $X = 105,7$ und für $Y = 136,7$, d. h. infolge des geringen Gehaltes der Konverterschlacke an wirksamem Fe muß man über 25 kg mehr davon nehmen, um eine um 0,5% FeO reichere Schlacke zu erzielen.

Wie man sieht, spielt der als richtig angenommene Schwefelgehalt des Röstgutes keine Rolle; will man die Zuschlagsmengen nicht auf 1 t Erz, sondern auf 1 t Röstgut berechnen, so muß man zunächst deren Gewichtsverhältnis ermitteln; beträgt z. B. das Ausbringen an Röstgut 90% des Erzvorlaufs, so erhöht sich die Menge an Konverterschlacke auf $\frac{80 \cdot 100}{90} = 89$ kg und an Kalkstein auf $\frac{134 \cdot 100}{90} = 149$ kg bezogen auf 1 t Röstgut. (Wenn bei der Röstung bereits Zuschläge gegeben werden, so empfiehlt es sich, an Stelle der Zusammensetzung des Erzgemisches die des gesamten Vorlaufens bei der Röstung einzusetzen.)

In dem angeführten Beispiel ergibt sich z. B. folgender Satz:

1000 kg Röstgut	
89 „ Konverterschlacke	
149 „ Kalkstein	
200 „ eigene reiche Schlacke = 20% des Röstgutes	
1438 kg	
15% = 216 „ Koks.	

Zur Berechnung der Silicierungsstufe benutzt man ein für allemal die Zahlen, welche angeben, wieviel Prozent Sauerstoff in SiO_2 , FeO, CaO usw. vorhanden sind; diese sind für SiO_2 : 53,0%, für FeO: 22,2%, CaO: 28,6%, ZnO: 24,5%.

42,2% SiO_2 in der Schlacke enthalten dann	22,37% O_2	
34,3% FeO „ „ „ „ „		7,61% O_2
12,1% CaO „ „ „ „ „		3,46% O_2
2,5% ZnO „ „ „ „ „		0,61% O_2
Verhältnis der Sauerstoffgehalte:	22,37	11,68,

d. h. die erzeugte Schlacke ist nahezu ein Bisilicat.

Soll untersucht werden, ob die beim Verblasen des erzeugten Steines fallende Menge an Konverterschlacke ausreicht, um den Bedarf an solcher zu decken, so geht man von der Überlegung aus, daß die darin enthaltene Eisenmenge ziemlich restlos in die Schlacke mit 42,0% Fe übergeht. Aus dem Verhältnis Fe im Stein:Fe in der Schlacke = 63,2:33,6 sieht man zunächst ohne weiteres, daß ein erheblicher Überschuß an Konverterschlacke verbleiben muß; dessen Menge ist theoretisch $\frac{(63,2 - 33,6)100}{42,0} = 70,5$ kg je 1000 kg Erz, d. i. 7% des Erzgemisches.

2. Will man die Gesamtproduktion an Konverterschlacke als Eisenzuschlag verarbeiten, so ist zu berücksichtigen, daß sich infolge der Erhöhung des Cu-Gehaltes des Satzes durch die größere Menge an Konverterschlacke die Steinmenge und dadurch wiederum die Produktion an Konverterschlacke erhöht. Man muß diese also zunächst berechnen:

Gesamtproduktion an Konverterschlacke = X kg (auf 1000 kg Erz) mit 2% Cu, 42% Fe. Die erzeugte Steinmenge enthält dann $\frac{(0,02 X + 90) 29}{42}$ kg Fe,

und diese Menge muß gleich sein 0,42 X kg Fe, dem Gehalt der Konverterschlacke. Die Ausrechnung ergibt: $X = \text{rd. } 153$ kg. Die Berechnung der Beschickung ist nun sehr einfach, da man nicht nur mit 1000 kg Erz, sondern außerdem mit 153 kg Konverterschlacke als Ausgangsmaterial zu rechnen hat; das Gemisch enthält dann:

	Cu	SiO ₂	Fe	CaO	Al ₂ O ₃	Zn
1000 kg Erz	90,0	305,0	245,0	25,0	20,0	15,0 kg
153 „ Konverterschl.	3,1	55,1	64,3	6,1	4,6	2,3 „
1153 kg ges.	93,1	360,1	309,3	31,1	24,6	17,3 kg = 21,6 kg ZnO

und es ist nur noch zu untersuchen, wieviel Kalk notwendig ist, um eine brauchbare Schlacke zu erzielen. Das ursprüngliche Mengenverhältnis der Schlackenbildner kann allerdings nicht mehr beibehalten werden, da ja jetzt das Verhältnis Fe:SiO₂ anders festgelegt ist. Angenommen, es soll ein Sesquisilicat erschmolzen werden, so gestaltet sich die Berechnung folgendermaßen:

93,1 kg Cu binden im Stein 64,3 kg Fe; Rest: 245,0 kg Fe = 316,0 kg FeO.
360,1 kg SiO₂ enthalten $360,1 \cdot 0,53 = 190,85$ kg O₂.

Da das Verhältnis des an SiO₂ gebundenen O₂ laut Definition des Begriffes „Sesquisilicat“ zu dem an Basen gebundenen = 3:2 sein soll, so benötigen wir, um der Forderung Genüge zu tun, $190,85 \cdot \frac{2}{3} = 127,23$ kg an Basen gebundenen O₂.

316,0 kg FeO enthalten $316,0 \cdot 0,222$ kg O₂ = 70,15 kg
31,1 „ CaO „ $31,1 \cdot 0,286$ „ O₂ = 8,89 „
21,6 „ ZnO „ $21,6 \cdot 0,245$ „ O₂ = 5,29 „
Sa. 84,33 kg

Es fehlen also noch $127,23 - 84,33 = 42,90$ kg O₂ in Gestalt von Kalk, entsprechend $\frac{42,90}{0,286} = 150,0$ kg CaO.

Bei einem SiO₂-Gehalt des Kalkes von 6,0% und einem CaO-Gehalt von 52,0% berechnet sich der zur Verfügung stehende „freie“ CaO-Gehalt in diesem Falle zu $52,0 - \frac{2/3 \cdot 6,0 \cdot 0,53}{0,286} = 44,6\%$. Die noch zuzusetzende Kalkmenge ist dann $\frac{150,0}{0,446} = 336$ kg und der Satz hat folgende Zusammensetzung:

	Cu	SiO ₂	Fe	CaO	Al ₂ O ₃	ZnO
1000 kg Erz +						
153 „ Konvertersch. l.	93,1	360,1	309,3	31,1	24,6	21,6 kg
336 „ Kalkstein . . .	—	20,2	—	174,7	—	— „
Sa. 1489 kg mit	93,1	380,3	309,3	205,8	24,6	21,6 kg
ergibt 222 kg Stein mit . . .	93,1	—	64,3	—	—	— „
1016 „ Schlacke mit . . .	—	380,3	245,0	205,8	24,6	21,6 „
			= 316,0 FeO			

Die Nachprüfung der Silicierungsstufe ergibt:

$$\begin{aligned}
 380,3 \cdot 0,53 &= 201,6 \text{ kg O}_2 \text{ als SiO}_2 \\
 316,0 \cdot 0,222 &= 70,2 \text{ kg O}_2 \text{ als FeO} \\
 205,8 \cdot 0,286 &= 58,9 \text{ „ O}_2 \text{ „ CaO} \\
 21,6 \cdot 0,245 &= 5,3 \text{ „ O}_2 \text{ „ ZnO} \\
 201,6 \text{ kg O}_2 \text{ als SiO}_2 : 134,4 \text{ kg O}_2 \text{ in Basen} &= 1,5 : 1,0.
 \end{aligned}$$

Die erzeugte Schlacke hat folgende Zusammensetzung:

$$37,0\% \text{ SiO}_2, 30,8\% \text{ FeO}, 20,0\% \text{ CaO}, 2,4\% \text{ Al}_2\text{O}_3, 2,1\% \text{ ZnO}.$$

Der CaO-Gehalt erreicht ungefähr die zulässige obere Grenze und läßt eine sehr Cu-arme Schlacke erwarten. Nehmen wir wieder an, daß 1000 kg Erz 900 kg Röstgut ergeben, so erhalten wir, auf 1000 kg Röstgut umgerechnet, folgenden Satz:

$$\begin{aligned}
 &1000 \text{ kg Röstgut} \\
 &170 \text{ „ Konverterschlacke} \\
 &373 \text{ „ Kalkstein} \\
 &200 \text{ „ eigene reiche Schlacke} \\
 16\% &= 280 \text{ „ Koks.}
 \end{aligned}$$

Man sieht, daß die Forderung der Erzeugung eines Sesquisilicates zu einer im Vergleich zu 1. sehr teuren Beschickung führt.

3. Die unter den obwaltenden Umständen billigste und zweckmäßigste Beschickung ist anscheinend eine solche, die den gesamten Entfall an Konverterschlacke verarbeitet und außerdem ein Minimum an Kalk benötigt, d. h. eine Bisilicatschlacke liefert. Auch diese ist rasch berechnet: Wie wir gesehen haben, enthalten 360,1 kg SiO₂ 190,85 kg O₂, die in dem Erz-Konverterschlacke-Gemisch vorhandenen Basen zusammen 84,33 kg. Um der Forderung Genüge zu tun, sollten sie enthalten $\frac{190,85}{2} = 95,5$ kg; es fehlen

also noch 10,7 kg O₂ in Form von Kalk = $\frac{10,7}{0,286} = 37,4$ kg CaO. Setzt man in dem zur Verfügung stehenden Kalkstein die SiO₂ als an CaO als Bisilicat gebunden ein, so erhält man $52,0 - \frac{1/2 \cdot 6 \cdot 0,53}{0,286} = 46,4\%$ „freies“ CaO, und die erforderliche Kalksteinmenge ist 80,5, rd. 81 kg.

Man kommt dann schließlich zu folgendem Satz:

1000 kg Röstgut
170 „ Konverterschlacke
90 „ Kalkstein
200 „ eigene reiche Schlacke
15% = 220 „ Koks.

Die erzeugte Schlacke enthält rechnermäßig:

39,5% SiO₂, 34,2% FeO, 7,9% CaO, 2,7% Al₂O₃, 2,3% ZnO.

Setzen wir den Koks mit 15 M. je Tonne und den Kalkstein mit 6 M. ein, so lassen sich die Kosten für diese Materialien bei den verschiedenen Sätzen je Tonne Erz + Konverterschlacke folgendermaßen ermitteln:

Setzen wir im 1. Satz für 1000 kg Erz die entsprechende Menge an Röstgut, so heißt dieser:

900 kg Röstgut
80 „ Konverterschlacke
134 „ Kalkstein
180 „ eigene Schlacke (= 20% des Röstgutes)
15% = 194 „ Koks

0,134 t Kalkstein zu je 6,00 M. = 0,804 M.

0,194 t Koks „ „ 15,00 M. = 2,910 M.

Auf 1080 kg Erz + Konverterschlacke 3,714 M., d. i. je t 3,44 M.

In derselben Weise ergibt sich für den 2. Satz 5,01 M.

und für den 3. Satz 2,98 M.

Das Bild ändert sich total, wenn man den Wert des verlorengehenden Cu-Gehaltes der Schlacke einsetzt; nimmt man an, daß die Schlacke des 1. Satzes mit 0,35% Cu, die des 2. Satzes mit 0,2 und die des 3. Satzes mit 0,45% Cu abgesetzt wird, so ergibt sich bei einem Kupferpreis von 2 M. je Kilogramm folgendes Bild (die Schlackenmengen sind je Tonne Erz + Konverterschlacke umgerechnet):

	Cu-Verlust	Gesamtkosten
1. Satz 749 kg Schlacke mit 0,35% Cu = 2,621 kg = 5,24 M.		8,68 M.
2. „ 890 „ „ „ 0,20% Cu = 1,780 „ = 3,56 M.		8,57 M.
3. „ 800 „ „ „ 0,45% Cu = 3,600 „ = 7,20 M.		10,18 M.

Man sieht, daß der erhöhte Kupferverlust die Ersparnisse des 3. Satzes vollkommen illusorisch machen kann. Soll er mit den beiden anderen Sätzen konkurrieren können, so darf der Cu-Gehalt der Schlacke nach der Gleichung

$$800 \frac{X}{100} 2 = 8,57 - 2,98; X = 0,35\% \text{ nicht überschreiten.}$$

Bei anderen Preisen für Kalkstein, Koks und Kupfer ergeben sich natürlich unter Umständen vollständig andere Vergleichswerte; so läßt sich leicht be-

rechnen, daß bei einem Sinken des Kupferpreises auf 1,55 M. der 3. Satz auch bei dem angenommenen hohen Cu-Verlust am günstigsten ist. Im Zweifelsfalle wird man den Satz wählen, bei dem die geringste Materialmenge zu transportieren ist.

4. Die sich in Beispiel 2 ergebende Schlacke mit 37,0% SiO_2 , 30,8% FeO , 20,0% CaO , 2,4% Al_2O_3 , 2,1% ZnO habe sich als zu kalkreich herausgestellt. Es soll durch Abziehen von Kalk der CaO -Gehalt auf 12% herabgesetzt werden.

Anstatt einen ganz neuen Ansatz zu machen, der häufig infolge der zugesetzten Menge an Material unbekannter Zusammensetzung nicht möglich ist, kann man bei der Korrektur des Satzes auch von der bekannten Zusammensetzung der Schlacke ausgehen. Notwendig ist dazu die Kenntnis des Verhältnisses Schlackenmenge : Durchsatz, die sich stets einigermaßen genau ermitteln läßt.

Angenommen, der Satz von Beispiel 2 ergebe eine Schlackenmenge von 1140 kg, dann enthält diese Menge folgende Gewichte an Schlackenbildnern:

	SiO_2	FeO	CaO	Al_2O_3	ZnO
1140 kg Schlacke	421,8	351,1	228,0	27,4	23,9 kg

Nehmen wir an, die abzuziehende Kalkmenge sei X kg, so enthält diese an schlackenbildenden Bestandteilen 6,0% SiO_2 + 52,0% CaO , entsprechend 0,58 X kg, und nach Abzug dieser Menge ergeben sich $1140 - 0,58 X$ kg Schlacke mit 12,0% CaO , d. h. mit $(1140 - 0,58 X) 0,12$ kg CaO ; diese Menge kann gleichgesetzt werden der ursprünglichen CaO -Menge von 228,0 kg abzüglich des CaO -Gehalts der abgezogenen X kg Kalk:

$$(1140 - 0,58 X) 0,12 = 228,0 - 0,52 X$$

$$X = \text{rd. } 202 \text{ kg}$$

	SiO_2	FeO	CaO	Al_2O_3	ZnO
202 kg Kalkstein	12,1	—	105,0	—	— kg
= rd. 117 „ Schlacke . . .					
Rest: 1023 „ Schlacke mit	409,7	351,1	123,0	27,4	23,9 „

Zusammensetzung der neuen Schlacke:

40,0% SiO_2 , 34,3% FeO , 12,0% CaO , 2,7% Al_2O_3 , 2,3% ZnO .

Die Berechnung ergibt, daß die neue Schlacke ein 1,83-Silicat ist. Der neue Satz hat dann folgende Zusammensetzung:

1000 kg Röstgut
 170 „ Konverterschlacke
 171 „ Kalkstein
 200 „ eigene reiche Schlacke
 14% = 216 „ Koks.

Gegenüber den Sätzen 1 bis 3 ist dieser jedenfalls leichtschmelziger, daher der geringere Kokssatz.