

ANTONI GERAS*

DIE ABHÄNGIGKEIT DER GASKENNZIFFERN DES STABILISIERTEN HOCHOFENPROZESSES VON DER GEBLÄSEWINDTEMPERATUR

ZALEŻNOŚĆ WSKAŹNIKÓW GAZOWYCH USTABILIZOWANEGO PROCESU WIELKOPIECOWEGO OD TEMPERATURY DMUCHU

Gegenstand der Veröffentlichung ist die Ableitung von Formeln für folgende Gaskennziffern des stabilisierten Hochofenprozess in Funktion der Gebläsewindtemperatur: CO_2 , CO , $\text{CO}_2 + \text{CO}$, E_{CO} , E_C und r_{CO} .

Es wird der Fall untersucht, wenn in der Reihe genügend langer Zeitabschnitten stabilisierter Hochofenarbeit, von den unabhängigen Parametern nur die Gebläsewindtemperatur ändert.

Abgeleitete Formeln bilden mathematische Schlussfolgerungen von den Abhängigkeiten der Gaskennziffern im stabilisierten Hochofenprozess von der Sauerstoffkonzentration im korrigierten Erzmöller [1].

Zur Illustrierung der Anwendungsmöglichkeiten abgeleiteten Formeln, hat man ein Zahlenbeispiel der Prognostizierung der Gaskennziffern vorgebracht, auf den Ergebnissen der Arbeit des Experimentalhochofens gegründet [3].

Przedmiotem publikacji jest wyprowadzenie wzorów na następujące wskaźniki gazowe ustabilizowanego procesu wielkopiecowego, w funkcji temperatury dmuchu: CO_2 , CO , $\text{CO}_2 + \text{CO}$, E_{CO} , E_C i r_{CO} .

Rozpatrywany jest przypadek, gdy w szeregu wystarczająco długich okresów ustabilizowanej pracy wielkiego pieca, z parametrów niezależnych zmienia się tylko temperatura dmuchu.

Wyprowadzone wzory stanowią wnioski matematyczne z zależności wskaźników gazowych ustabilizowanego procesu wielkopiecowego, od koncentracji tlenu w skorygowanym naboju rudowym [1].

Dla zilustrowania możliwości zastosowań wyprowadzonych wzorów, przytoczono przykład liczbowy prognozowania wskaźników gazowych, oparty na wynikach pracy wielkiego pieca doświadczalnego [3].

* 01-861 WARSZAWA, UL. ŻEROMSKIEGO 4A/18

1. Die Abhängigkeit der Gaskennziffern des stabilisierten Hochofenprozesses von der Sauerstoffkonzentration im korrigierten Erzmöller

Wenn in vielen, entsprechend langen Zeitabschnitten des stabilisierten Hochofenprozesses, von den unabhängigen Kennziffern nur die Zahlenwerte der Sauerstoffkonzentration gebunden mit roheisenbildenden Bestandteilen ändern, dann richtig sind folgende Abhängigkeiten [1]:

Prozentiger Kohlenstoffdioxidgehalt im Gichtgas:

$$\text{CO}_2 = c_1 + c \cdot c_1 \cdot \lg(O_r) = c_1 + c_5 \cdot \lg(O_r) \quad \% \quad (1)$$

Prozentiger Kohlenstoffoxydgehalt im Gichtgas:

$$\text{CO} = c_3 - c_2 - c \cdot c_2 \cdot \lg(O_r) = c_6 - c_7 \cdot \lg(O_r) \quad \% \quad (2)$$

Prozentiger $\text{CO}_2 + \text{CO}$ — Gehalt im Gichtgas:

$$\text{CO}_2 + \text{CO} = c_1 - c_2 + c_3 + c \cdot (c_1 - c_2) \cdot \lg(O_r) = c_8 + c_9 \cdot \lg(O_r) \quad \% \quad (3)$$

Der Kohlenoxydausnutzungsgrad:

$$E_{\text{CO}} = \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 + \text{CO}} = \frac{c_1 + c \cdot c_1 \cdot \lg(O_r)}{c_1 - c_2 + c_3 + c \cdot (c_1 - c_2) \cdot \lg(O_r)} = \frac{c_1 + c_5 \cdot \lg(O_r)}{c_8 + c_9 \cdot \lg(O_r)} \quad (4)$$

Der Kohlenoxydausnutzungsgrad zur Reduktion des mit roheisenbildenden Bestandteilen gebundenen Sauerstoffes:

$$E_c = \frac{0,75 \cdot O_r \cdot U}{C_g} = 1 + c \cdot \lg(O_r) \quad (5)$$

Anteil der indirekten Reduktion:

$$r_{\text{CO}} = \frac{E_{\text{CO}}}{E_c} = \frac{c_1}{c_8 + c_9 \cdot \lg(O_r)} \quad (6)$$

wobei

C_g — die Kohlenstoffmengenkeennziffer im Gichtgas:

$$C_g = \frac{0,75 \cdot O_r \cdot U}{E_c} = \frac{0,75 \cdot O_r \cdot U}{1 + c \cdot \lg(O_r)} \quad \text{t/t flüssiges Roheisen} \quad (7)$$

$$= 0,01 \cdot C_k \cdot k - 0,01 \cdot C_s + C_w \quad \text{t/t flüssiges Roheisen} \quad (8)$$

O_r — die Sauerstoffmenge, gebunden mit roheisenbildenden Bestandteilen, vor Anwendung des vorreduzierten Möllers, in t/t flüssiges Roheisen,

U — der Oxydierungsgrad der Eisenerze,

$O_r \cdot U$ — die reduzierte Oxydmenge, in t/t flüssiges Roheisen,

$0,75 \cdot O_r \cdot U$ — theoretische Kohlenstoffverbrauch zur Reduktion des Sauerstoffes, t/t flüssiges Roheisen,

- c, c_1, c_2 — die Koeffizienten bestimmbare während stabilisierter Arbeit des Hochofenprozesses (1),
 c_3 — eine Konstante, die nur von Sauerstoffgehalt im trockenen Gebläsewind abhängt:

$$c_3 = \frac{(21 + \Delta O) \cdot 2 \cdot 100}{121 + \Delta O} \quad (9)$$

- ΔO — Überschuss des prozentigen Sauerstoffgehalts in der trockenen Gebläseluft, über 21%. In trockener Luft ist $\Delta O = 0$, $c_3 = 34,7$,
 (O_r) — die Sauerstoffkonzentration in der, um die Schlacke und Roheisenbildenden Bestandteile des Flusses und der Koksasche, korrigierten Erzcharge (1):

$$(O_r) = \frac{O_r \cdot U}{(r)} \quad (10)$$

- (r) — die, um die Schlacke- und Roheisenbildenden Bestandteile des Flusses und der Koksasche, korrigierte Erzcharge (1):

$$(r) = r + w \cdot (1 - 0,01 \cdot \text{CO}_{2w}) + 0,01 \cdot k \cdot A_k \quad \text{t/t flüssiges Roheisen} \quad (11)$$

$$= 1 - 0,01 C_s + O_r \cdot U + \dot{z} = r_g + \dot{z} \quad \text{t/t flüssiges Roheisen} \quad (12)$$

- CO_{2w} — der Kohlenstoffdioxydgehalt im trockenen Rohschmelzfluss, in %,
 r, w, k — trockener Erz- bzw. Rohfluss- bzw. Koksverbrauch ohne Auspuffverluste, in t/t flüssiges Roheisen,
 \dot{z} — die Schlackenmenge, in t/t flüssiges Roheisen,
 C_s — der Kohlenstoffgehalt im Roheisen, in %,
 C_k — der Kohlenstoffgehalt im Koks, in %,
 A_k — der Aschegehalt, im trockenen Koks, in %,
 r_g — die Grenzcharge, theoretisch in einem schlackenlosen Prozess erreichbar, in t/t flüssiges Roheisen:

$$r_g = 1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U \quad \text{t/t flüssiges Roheisen} \quad (13)$$

- C_w — die Kohlenstoffmenge aus den Karbonaten. Im Falle wenn im Kalkstein die Beimischungsmenge 3% beträgt:

$$C_w = 0,116 \cdot w \quad \text{t/t flüssiges Roheisen} \quad (14)$$

$$c_5 = c \cdot c_1$$

$$c_6 = c_3 - c_2$$

$$c_7 = c \cdot c_2$$

$$c_8 = c_1 - c_2 + c_3$$

$$c_9 = c \cdot (c_1 - c_2)$$

Man soll darauf hinzuweisen, dass in gegebenen Fall des stabilisierten Hochofenprozesses die Oxydmenge, $O_r \cdot U$, konstant bleibt.

2. Die Abhängigkeit der Koeffizienten c , c_1 und c_2 von der Gebläsewindtemperatur

Die Analyse der Formeln (1) und (2) führt zum Schluss, dass wenn in vielen, entsprechend langen Zeitabschnitten der Hochofenarbeit, mitten unabhängigen Parametern nur die Gebläsewindtemperatur ändert, dann die Grösse $c \cdot c_1 = c_5$ und $c \cdot c_2 = c_7$ konstant bleiben. Also:

$$c \cdot c_1 = \text{konst}_1 \quad (15)$$

$$c \cdot c_2 = \text{konst}_2 \quad (16)$$

Der Koeffizient c ist folgende Funktion der Gebläsewindtemperatur (2):

$$c = c_o - 0,869 \cdot \lg(t + 273) = c_o - 0,869 \cdot \lg T. \quad (17)$$

T — $t + 273$,

t — die Gebläsewindtemperatur in °C,

c_o — der Koeffizient abhängig von der Gesamtheit der Stabilisierungsbedingungen des Hochofenprozesses,

0,869 — ein Konstanter Koeffizient,

Von der Formeln (15) ... (17) folgen folgende Abhängigkeiten:

$$c_1 = \frac{\text{konst}_1}{c_o - 0,869 \cdot \lg T}. \quad (18)$$

$$c_2 = \frac{\text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T}. \quad (19)$$

3. Die Abhängigkeit des prozentigen CO_2 — Gehaltes im Hochofengichtgas von der Gebläsewindtemperatur

Von den Abhängigkeiten (1), (15) und (18) folgt prozentuelle CO_2 — Gehalt im Gichtgas in Funktion der Gebläsewindtemperatur:

$$\text{CO}_2 = \text{CO}_2 [T, (O_r)] = \frac{\text{konst}_1}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + \text{konst}_1 \cdot \lg(O_r) \quad \%. \quad (20)$$

$$\text{CO}_2 = \text{CO}_2 [T, (r), O_r \cdot U] = \frac{\text{konst}_1}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + \text{konst}_1 \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{(r)} \quad \%. \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= \text{CO}_2 (T, z, O_r \cdot U) = \\ &= \frac{\text{konst}_1}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + \text{konst}_1 \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U + z} \quad \%. \end{aligned} \quad (22)$$

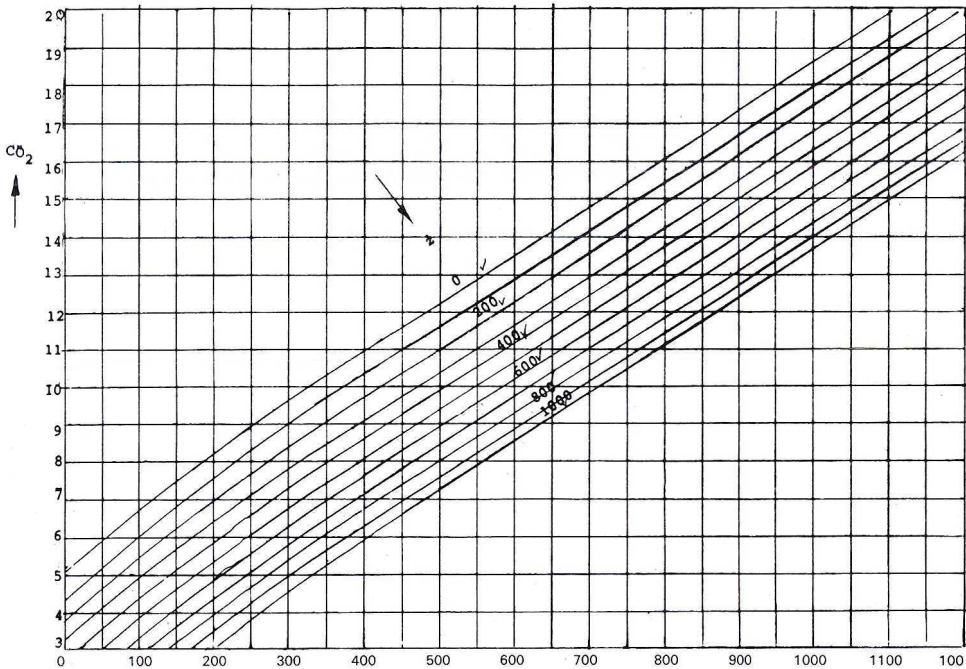


Bild 1. Die Abhängigkeit des prozentigen CO_2 — Gehaltes im Gichtgas von der Gebläsewindtemperatur, für ersten Zeitabschnitt der Arbeit des Experimentalhochofens

Im theoretisch möglichen Fall des schlackenlosen Hochofenprozesses, prozentiger CO_2 — Gehalt im Gichtgas erreicht folgenden Grenzwert:

$$\begin{aligned}
 (\text{CO}_2)_g &= \text{CO}_2(T, O_r \cdot U, z = 0) \\
 &= \frac{\text{konst}_1}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + \text{konst}_1 \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U} \quad \% .
 \end{aligned} \quad (23)$$

4. Die Abhängigkeit des prozentigen CO — Gehaltes im Hochofengichtgas von der Gebläsewindtemperatur

Von den Abhängigkeiten (2), (16) und (19) folgt:

$$\text{CO} = \text{CO}[T, (O_r)] = c_3 - \frac{\text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} - \text{konst}_2 \cdot \lg(O_r) \quad \% . \quad (24)$$

$$\text{CO} = \text{CO}[T, (r), O_r \cdot U] = c_3 - \frac{\text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} - \text{konst}_2 \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{(r)} \quad \% . \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \text{CO} &= \text{CO}(T, \dot{z}, O_r \cdot U) \\ &= c_3 - \frac{\text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} - \text{konst}_2 \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U + \dot{z}} \quad \% \end{aligned} \quad (26)$$

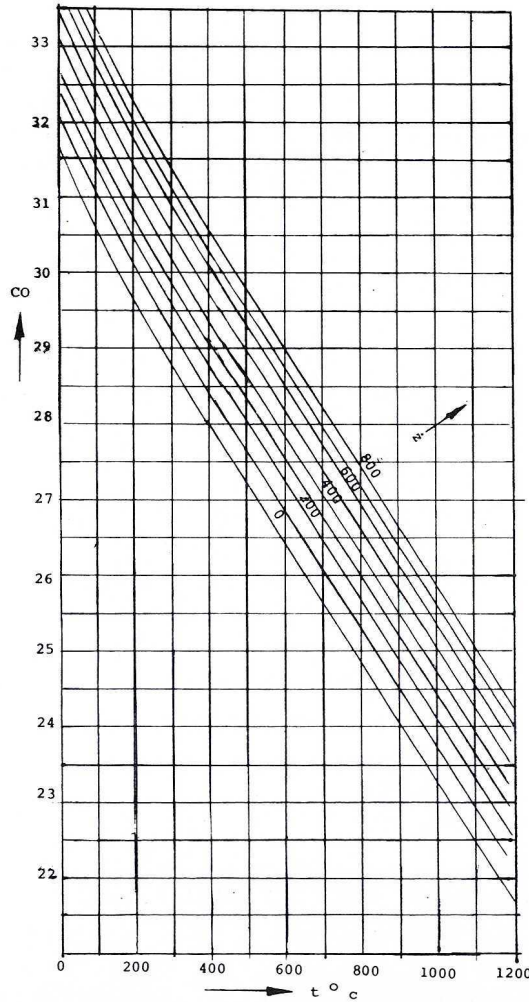


Bild 2. Die Abhängigkeit des prozentigen CO — Gehaltes im Gichtgas von der Gebläsewindtemperatur, für ersten Zeitabschnitt der Arbeit des Experimentalhochofens

Im theoretisch möglichen Fall des schlackenlosen Hochofenprozesses, prozentiger CO — Gehalt im Gichtgas erreicht ihren Grenzwert:

$$\begin{aligned} (\text{CO})_g &= \text{CO}(T, O_r \cdot U, \dot{z} = 0) \\ &= c_3 - \frac{\text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} - \text{konst}_2 \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U} \quad \% \end{aligned} \quad (27)$$

5. Die Abhängigkeit des prozentigen $\text{CO}_2 + \text{CO}$ — Gehalts im Hochfengichtgas von der Gebläsewindtemperatur

Von den Abhängigkeiten der Kapitel 3 und 4 folgt:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 + \text{CO} &= (\text{CO}_2 + \text{CO}) [T, (O_r)] \\ &= c_3 + \frac{\text{konst}_1 - \text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg (O_r) \quad \% \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 + \text{CO} &= (\text{CO}_2 + \text{CO}) [T, (r), O_r \cdot U] \\ &= c_3 + \frac{\text{konst}_1 - \text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{(r)} \quad \% \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 + \text{CO} &= (\text{CO}_2 + \text{CO}) (T, \dot{z}, O_r \cdot U) \\ &= c_3 + \frac{\text{konst}_1 - \text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U + \dot{z}} \quad \% \end{aligned} \quad (30)$$

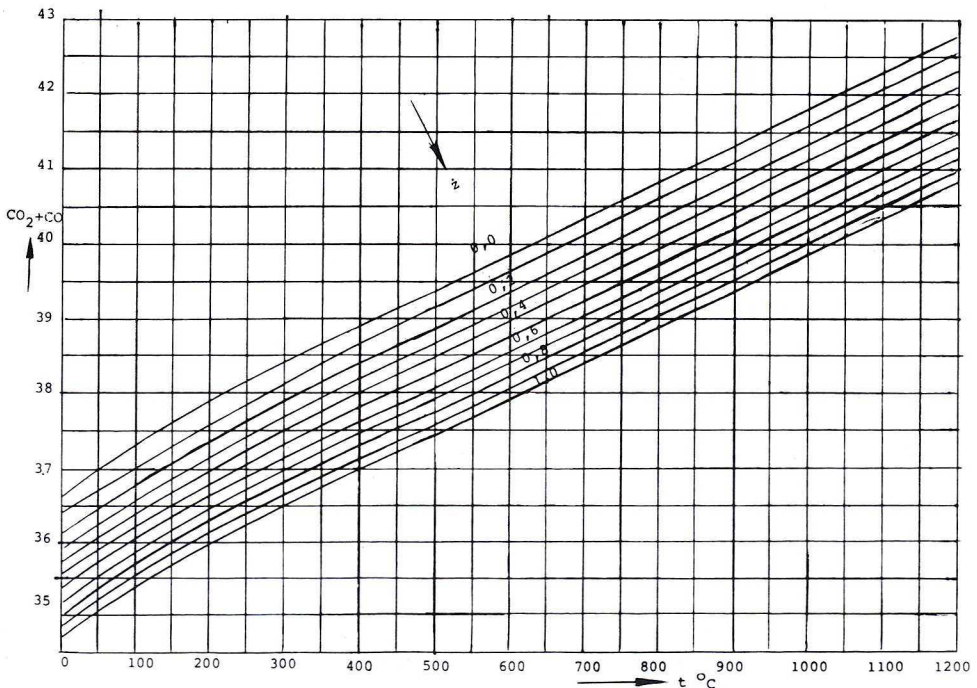


Bild 3. Die Abhängigkeit des prozentigen $\text{CO}_2 + \text{CO}$ — Gehaltes im Gichtgas von der Gebläsewindtemperatur, für ersten Zeitabschnitt des Experimentalhochofens

Im theoretischen Fall des schlackenlosen Hochofenprozesses, prozentiger $\text{CO}_2 + \text{CO}$ — Gehalt im Gichtgas erreicht ihren Grenzwert:

$$\begin{aligned} (\text{CO}_2 + \text{CO})_g &= (\text{CO}_2 + \text{CO})(T, O_r \cdot U, \dot{z} = 0) \\ &= c_3 + \frac{\text{konst}_1 - \text{konst}_2}{c_o - 0,869 \cdot \lg T} + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U} \quad \% \end{aligned} \quad (31)$$

6. Die Abhängigkeit des Kohlenoxydausnutzungsgrades, E_{CO} , von der Gebläsewindtemperatur

Die Abhängigkeit des Kohlenoxydausnutzungsgrades, E_{CO} , von der Gebläsewindtemperatur folgt von den Formeln des Kapitels 3 und 5:

$$\begin{aligned} E_{\text{CO}} &= \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 + \text{CO}} = E_{\text{CO}}[T, (O_r)] \\ &= \frac{\text{konst}_1 \cdot [1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg(O_r)]}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot [c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg(O_r)]} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} E_{\text{CO}} &= E_{\text{CO}}[T, (r), O_r \cdot U] \\ &= \frac{\text{konst}_1 \cdot \left[1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{(r)} \right]}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \left[c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{(r)} \right]} \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} E_{\text{CO}} &= E_{\text{CO}}(T, \dot{z}, O_r \cdot U) \\ &= \frac{\text{konst}_1 \cdot \left[1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U + \dot{z}} \right]}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \left[c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U + \dot{z}} \right]} \end{aligned} \quad (34)$$

Im theoretisch möglichen Falle des schlackenlosen Prozesses, E_{CO} erreicht ihrem Grenzwert:

$$\begin{aligned} (E_{\text{CO}})_g &= E_{\text{CO}}(T, O_r \cdot U, \dot{z} = 0) \\ &= \frac{\text{konst}_1 \cdot \left[1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U} \right]}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \left[c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U} \right]} \end{aligned} \quad (35)$$

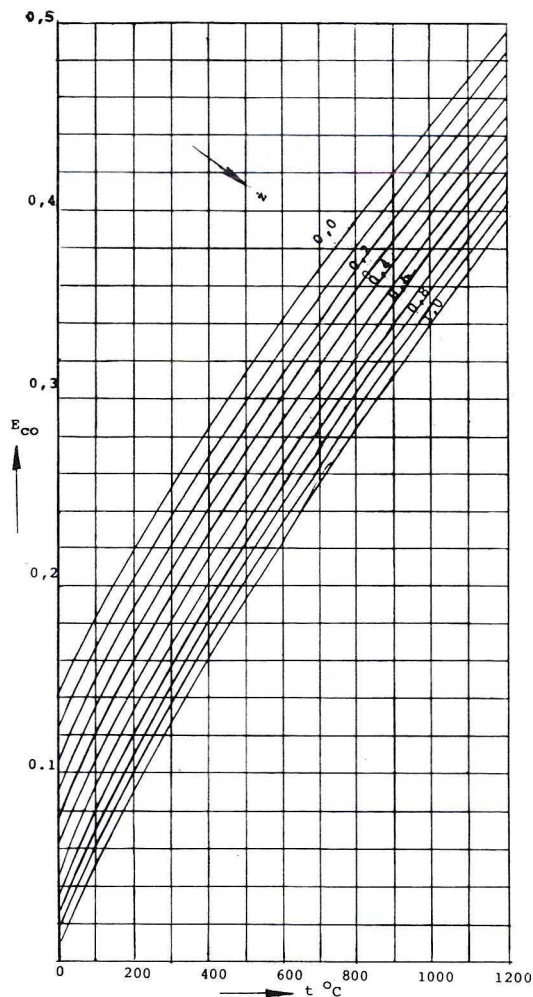


Bild 4. Die Abhängigkeit des Kohlenoxydausnutzungsgrades von der Gebläsewindtemperatur, für ersten Zeitabschnitt der Arbeit des Experimentalhochofens

7. Die Abhängigkeit des Kohlenstoffausnutzungsgrades, E_c , zur Reduktion des Oxydes von der Gebläsewindtemperatur

Die Abhängigkeit des Kohlenstoffausnutzungsgrades, E_c , von der Gebläsewindtemperatur folgt von den Formeln (5) und (17):

$$E_c = E_c [T, (O_r)] = 1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg (O_r). \quad (36)$$

$$E_c = E_c [T, O_r \cdot U, (r)] = 1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{(r)} \quad (37)$$

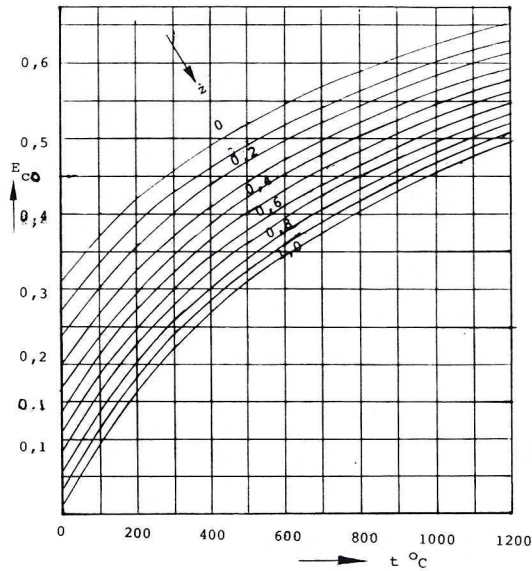


Bild 5. Die Abhängigkeit des Kohlenstoffausnutzungsgrades, E_c , von der Gebläsewindtemperatur, für ersten Zeitabschnitt der Arbeit des Experimentalhochofens

$$E_c = E_c(T, O_r \cdot U, \dot{z}) = 1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U + \dot{z}} \quad (38)$$

Im theoretischen Falle des schlackenlosen Prozesses, E_c erreicht folgenden Grenzwert:

$$(E_c)_g = E_c(T, O_r \cdot U, \dot{z} = 0) = 1 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U} \quad (39)$$

8. Die Abhängigkeit des indirekten Reduktionanteils, r_{CO} , von der Gebläsewindtemperatur

Die Abhängigkeit des indirekten Reduktionanteils, r_{CO} , von der Gebläsewindtemperatur folgt von den Formeln (6) und (17) (19):

$$\begin{aligned} r_{CO} &= r_{CO}[T, (O_r)] \\ &= \frac{\text{konst}_1}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot [c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg(O_r)]} \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} r_{CO} &= r_{CO}[T, O_r \cdot U, (r)] \\ &= \frac{\text{konst}_1}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \left[c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{(r)} \right]} \end{aligned} \quad (41)$$

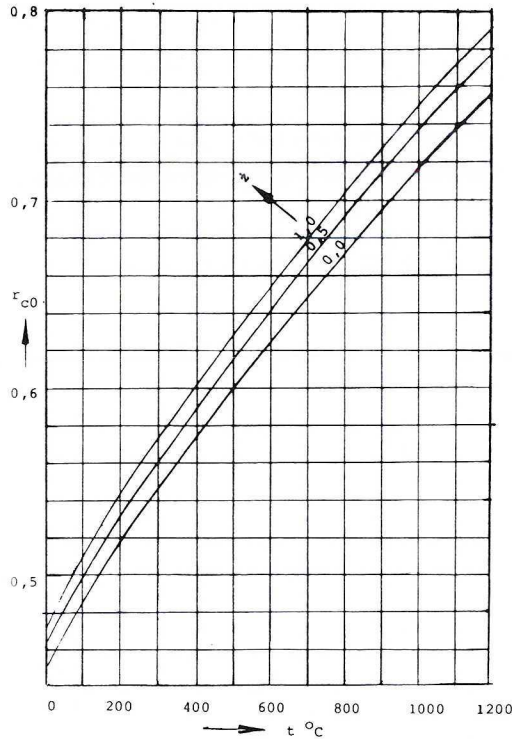


Bild 6. Die Abhängigkeit der indirektion Reduktionanteils von der Gebläsewindtemperatur, für ersten Zeitabschnitt der Arbeit des Experimentalhochofens

$$r_{CO} = r_{CO}(T, O_r \cdot U, \dot{z})$$

$$= \frac{\text{konst}_1}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \left[c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U + \dot{z}} \right]} \quad (42)$$

Im theoretisch möglichen Falle des schlackenlosen Prozesses, r_{CO} erreicht folgenden Grenzwert:

$$(r_{CO})_g = r_{CO}(T, O_r \cdot U, \dot{z} = 0)$$

$$= \frac{\text{konst}_1}{\text{konst}_1 - \text{konst}_2 + (c_o - 0,869 \cdot \lg T) \cdot \left[c_3 + (\text{konst}_1 - \text{konst}_2) \cdot \lg \frac{O_r \cdot U}{1 - 0,01 \cdot C_s + O_r \cdot U} \right]} \quad (43)$$

9. Das Zahlenbeispiel

Das Zahlenbeispiel basiert auf den Ergebnissen der vier Betriebsperioden des Experimentalhochofens, publiziert von R. L. Wolf [3]. Diese sind in der Tafel 2 zusammengestellt.

Die Daten der Tafel 2 dienen zur verfertigung der Prognose für die Gaskennziffern der 4 Zeitabschnitten des experimentalen Hochofenprozesses zusammengestellt in der Tafel 1.

TAFEL I

Die Zusammenstellung der Formeln zur Prognostizierung der Kennziffernzahlenwerten für 4 Perioden des Experimentalhochofens

	Die Periode	Die Kennziffer	Die Formel
1	2	3	4
1	I	CO ₂	$= \frac{21,03}{3,400 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 21,03 \cdot \lg \frac{0,392}{1,352 + z}$
2	II	CO ₂	$= \frac{20,40}{3,373 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 20,40 \cdot \lg \frac{0,264}{1,224 + z}$
3	III	CO ₂	$= \frac{21,12}{3,389 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 21,12 \cdot \lg \frac{0,157}{1,117 + z}$
4	IV	CO ₂	$= \frac{21,68}{3,387 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 21,68 \cdot \lg \frac{0,083}{1,043 + z}$
5	I	CO	$= 34,7 - \frac{13,00}{3,400 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} - 13,00 \cdot \lg \frac{0,392}{1,352 + z}$
6	II	CO	$= 34,7 - \frac{13,02}{3,373 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} - 13,02 \cdot \lg \frac{0,264}{1,244 + z}$
7	III	CO	$= 34,7 - \frac{13,36}{3,389 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} - 13,36 \cdot \lg \frac{0,157}{1,117 + z}$
8	IV	CO	$= 34,7 - \frac{13,31}{3,387 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} - 13,31 \cdot \lg \frac{0,083}{1,043 + z}$
9	I	CO ₂ + CO	$= 34,7 + \frac{8,02}{3,400 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 8,02 \cdot \lg \frac{0,392}{1,352 + z}$
10	II	CO ₂ + CO	$= 34,7 + \frac{7,38}{3,373 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 7,38 \cdot \lg \frac{0,264}{1,224 + z}$
11	III	CO ₂ + CO	$= 34,7 + \frac{7,76}{3,389 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 7,76 \cdot \lg \frac{0,157}{1,117 + z}$
12	IV	CO ₂ + CO	$= 34,7 + \frac{8,37}{3,387 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)} + 8,37 \cdot \lg \frac{0,083}{1,043 + z}$

1	2	3	4
13	I	E_{CO}	$= \frac{21,03 \cdot [1 + 3,400 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,392}{1,352 + \dot{z}}}{8,02 + [3,400 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 8,02 \cdot \lg \frac{0,392}{1,352 + \dot{z}} \right)}$
14	II	E_{CO}	$= \frac{20,40 \cdot [1 + 3,373 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,264}{1,224 + \dot{z}}}{7,38 + [3,373 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 7,38 \cdot \lg \frac{0,264}{1,224 + \dot{z}} \right)}$
15	III	E_{CO}	$= \frac{21,12 \cdot [1 + 3,389 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,157}{1,117 + \dot{z}}}{7,76 + [3,389 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 7,76 \cdot \lg \frac{0,157}{1,117 + \dot{z}} \right)}$
16	IV	E_{CO}	$= \frac{21,68 \cdot [1 + 3,387 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,083}{1,043 + \dot{z}}}{8,37 + [3,387 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 8,37 \cdot \lg \frac{0,083}{1,043 + \dot{z}} \right)}$
17	I	E_c	$= 1 + [3,400 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,382}{1,352 + \dot{z}}$
18	II	E_c	$= 1 + [3,373 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,264}{1,224 + \dot{z}}$
19	III	E_c	$= 1 + [3,389 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,157}{1,117 + \dot{z}}$
20	IV	E_c	$= 1 + [3,387 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \lg \frac{0,083}{1,043 + \dot{z}}$
21	I	r_{CO}	$= \frac{21,03}{8,02 + [3,400 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 8,02 \cdot \lg \frac{0,392}{1,352 + \dot{z}} \right)}$
22	II	r_{CO}	$= \frac{20,40}{7,38 + [3,373 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 7,38 \cdot \lg \frac{0,264}{1,224 + \dot{z}} \right)}$
23	III	r_{CO}	$= \frac{21,12}{7,76 + [3,389 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 7,76 \cdot \lg \frac{0,157}{1,117 + \dot{z}} \right)}$
24	IV	r_{CO}	$= \frac{21,68}{8,37 + [3,387 - 0,869 \cdot \lg(t + 273)] \cdot \left(34,7 + 8,37 \cdot \lg \frac{0,083}{1,043 + \dot{z}} \right)}$

Die Prognose ist richtig bei Voraussetzung, dass in jeden Zeitabschnitt der Arbeit dieses Experimentalhochofens, geeignete Stabilisationsbedingungen aufbewahren sind.

TAFEL 2

Die Zusammenstellung der Arbeitsergebnissen des Experimentalhochofens in vier Perioden der Arbeit [1]

1	Spezifizierung	Die Periode der Hochofen-Arbeit				Mittelwert
		I	II	III	IV	
1	2	3	4	5	6	7
1	Die Erzeugung des flüssigen Roheisens	37,1	47,0	58,7	65,5	
2	Der Siliziumgehalt im Roheisen, in %	1,10	1,04	0,99	0,99	
3	Die Temperatur der Gebläseluft, in °C	1200	1200	1200	1200	
4	Die Gichttemperatur, °C	171	127	93	121	
5	Der Koksverbrauch, k , t/t flüssiges Roheisen	0,573	0,440	0,352	0,306	
6	Der Rohschmelzflussverbrauch, w , t/t	0,174	0,149	0,147	0,111	
7	Die Schlackenmenge, z , t/t	0,235	0,214	0,210	0,192	
8	Der Oxydierungsgrad der Erzcharge, U	1,000	0,674	0,400	0,212	
9	Die Gichtgaszusammensetzung, in %					
10	CO ₂	19,7	17,9	13,6	8,8	
	CO	22,5	23,3	26,1	29,3	
	CO ₂ +CO	42,2	41,2	39,7	38,1	
	N ₂	55,5	56,1	57,3	58,2	
10	Die reduzierte Oxydmenge, $O_r \cdot U$, t/t	0,392	0,264	0,157	0,083	
11	$c_w = 0,116 \cdot w$, t/t	0,020	0,017	0,017	0,013	
12	Die Kohlenstoffmenge im Gichtgas, C_g , t/t	0,484	0,364	0,287	0,242	
13	Der Kohlenstoffausnutzungsgrad, E_c	0,607	0,544	0,410	0,257	
14	Der Kohlenoxydausnutzungsgrad, E_{CO}	0,467	0,434	0,343	0,231	
15	Die Grenzcharge, r_g , t/t	1,352	1,224	1,117	1,043	
16	Die korrigierte Erzcharge, (r), t/t	1,587	1,438	1,327	1,235	
17	Die Konzentration des gebundenen Oxydes	0,247	0,184	0,118	0,0672	
18	Anteil der indirekten Reduktion, r_{CO}	0,769	0,798	0,837	0,899	
19	c , Formel (17),	0,647	0,620	0,636	0,634	0,634
20	c_1 , Formel (1),	32,5	32,9	33,2	34,2	33,2
21	c_2 , Formel (2),	20,1	21,0	21,0	21,0	20,8
22	c_3	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7
23	$c_5 = c \cdot c_1 = \text{konst}_1$	21,03	20,40	21,12	21,68	21,05
24	$c_6 = c_3 - c_2$	14,6	13,7	13,7	13,7	13,9
25	$c_7 = c \cdot c_2 = \text{konst}_2$	13,00	13,02	13,36	13,31	13,20
26	$c_8 = c_1 - c_2 + c_3$	47,1	46,6	46,9	47,9	47,1
27	$c_9 = c \cdot (c_1 - c_2) = \text{konst}_1 - \text{konst}_2$	8,02	7,38	7,76	8,37	7,88
28	c_0 , Formel (17)	3,400	3,373	3,389	3,387	3,387

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Koeffizientenzahlenwerte c_0 , c_1 und c_2 in einzelnen Zeitabschnitten nicht genau gleich bleiben. Es ist verursacht durch erhebliche Schwierigkeiten die unabhängigen Parameterwerte auf konstanten Niveau zu halten, erklären.

10. Schlussfolgerungen

1. Die, im Artikel abgeleiteten Formeln sind sowohl für den traditionell geführten Prozess, als auch für den auf vorreduzierendem Erzmöller geführten, gültig.

2. Die abgeleitete Formeln ermöglichen die Prognostizierung der Gaskennziffern in Funktion der Gebläsewindtemperatur.

3. Über 300°C CO_2 , CO und $\text{CO}_2 + \text{CO}$ verlaufen beinahe linear mit vergrößerung der Gebläsewindtemperatur.

4. Selbst in experimentalen Betriebesbedingungen es ist nicht leicht volle Stabilisation des Prozesses zu erreichen.

5. Die berechneten CO_2 und CO Zahlenwerte stimmen mit den Angaben der Literatur.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] A. G e r a s, Die Abhängigkeit ausgewählter Kennziffern des Hochofenprozesses von der Konzentration des gebundenen Sauerstoffes in der Erzcharge. Archives of Metallurgy **1** (1993).
- [2] A. G e r a s, Die Abhängigkeit des Koksverbrauchkennziffers im Hochofenprozess von der Gebläsewindtemperatur, Archives of Metallurgy **3** (1999).
- [3] R. L. W o l f, Blast furnace operation with prerduced burdens, J. Metals **18** (1966).

REVIEWED BY: PROF. DR INŻ. FRANCISZEK BYRTUS

Received: 10 Marz 2000.