

Essen, den 10. Oktober 1945

Betr. Spaltanlage Rheinpreussen.

955

Berechnung zur Aufstellung des Wärmeflussbildes nach Betriebsangaben.

A) Analysenübersicht

	Ko-Gas %	Spaltgas %	Heizgas %
CO ₂ + H ₂ S	3,2	4,7	36,7
C ₂ H ₄	1,9	-	0,2
O ₂	0,2	0,1	-
CO	6,2	14,5	9,0
H ₂	51,4	70,3	12,6
CH ₄	24,5	2,1	15,5
N ₂	12,6	8,3	26,0
Benzol 2 - 5 g =	3,5 g/Nm ³		
Ho WE/Nm ³	4413	2783	

Rechengrößen bezogen auf 1 Nm³ Spaltgas:

	Ko-Gas	Spaltgas	Heizgas auf Ko-Gas umger.
Verhältnis	1	1,7	0,26
Gasmenge Nm ³ /Std.	10300	17500	2680
Gasmenge Nm ³	0,588	1,000	0,153
Reaktionsdampf	8200 17500	= 0,457 kg	
Spüldampf	3500 17500	= 0,200 kg	

B) Nachrechnung der analytischen Werte zur Bestimmung der Kohlenstoffverluste bei der Spaltung.

Bei Verbrennung des Gases vor und nach der Spaltung mit Luft entsteht die gleiche Menge Verbrennungsgas (trocken) von gleicher Zusammensetzung, d.h. die Verbrennungsgasanalyse muss in beiden Fällen den gleichen CO₂-Gehalt bzw. das gleiche Verhältnis von CO₂ : N₂ ergeben. Verminderung des CO₂-Gehaltes im Spaltgas bedeutet Kohlenstoffverluste bei der Spaltung. Nachfolgend sind die Verbrennungsrechnungen durchgeführt:

Ko-Gas	% = R.T.	Raumteile				
		+ O ₂	+ N ₂	= CO ₂	+ N ₂	+ O ₂
CO ₂	3,2	-	-	3,20	-	-
C ₂ H ₄	1,9	5,70	21,40	3,80	21,40	-
O ₂	0,2	-	-	-	-	0,20
CO	6,2	3,10	11,65	6,20	11,65	-
H ₂	51,4	25,70	96,60	-	96,60	-
CH ₄	24,5	49,00	184,00	24,50	184,00	-
N ₂	12,6	-	-	-	12,60	-
		100,00	+ 83,50	+ 313,65	= 37,70	+ 326,25 + 0,2

Lt. Angabe beträgt der Benzolgehalt im Ko-Gas 2 - 5 g pro Nm³.
Rechnet man mit 3,5 g als Mittel, so ergeben sich bei einem spez.
Gewicht von 3,48 kg/Nm³ Benzoldampf

$$\frac{1000}{3480} \cdot 3,5 = 1 \text{ Ltr. Benzoldampf/Nm}^3 \text{ Ko-Gas}$$

d.s. $\frac{1}{1000} \cdot 100 = 0,1$ Raumteile bezogen auf 100 Raumteile KO-Gas

C ₆ H ₆	0,1	0,75	2,82	0,60	2,82	
		100,1	+ 84,25	+ 316,47	= 38,30	+ 329,07 + 0,2

Bei Vernachlässigung der 0,2 R.T. O₂ setzt sich das trockene
Verbrennungsgas wie folgt zusammen:

CO ₂	38,30 R.T.	=	10,4 %
N ₂	329,07	=	89,6 %
CO ₂ + N ₂	367,37 R.T.	=	100,0 %

Dieselbe Rechnung beim Spaltgas durchgeführt ergibt nachstehende
Werte:

Spaltgas	% = R.T.	Raumteile				
		+ O ₂	+ N ₂	= CO ₂	+ N ₂	+ O ₂
CO ₂	4,7	-	-	4,7	-	-
C ₂ H ₄	-	-	-	-	-	-
O ₂	0,1	-	-	-	-	0,1
CO	14,5	7,25	27,2	14,5	27,2	-
H ₂	70,3	35,15	132,0	-	132,0	-
CH ₄	2,1	4,20	15,8	2,1	15,8	-
N ₂	8,3	-	-	-	8,3	-
		100,0	+ 46,60	+ 175,0	= 21,3	+ 183,3 + 0,1

CO ₂	21,30 R.T.	= 10,4 %
N ₂	183,30 R.T.	= 89,6 %
	204,60 R.T.	= 100,0 %

Die Zusammensetzung des Verbrennungsgases ist in beiden Fällen gleich. Kohlenstoffverluste lassen sich analytisch nicht nachweisen.

c) Menge und Zusammensetzung des Spaltgases bei theoretischer Spaltung:

	Ko-G. R.-T.	Umsetzung mit W.D. R.T.	Spaltgas R.T.	%	Betriebs- analyse %
CO ₂	3,2	+ 5,2	8,40	4,7	4,7
C ₂ H ₄	1,9	- 1,9	-	-	-
O ₂	0,2		0,20	0,1	0,1
CO	6,2	+ 3,8 + 20,76 - 5,2 + 0,9	26,46	14,9	14,5
H ₂	51,4	+ 7,6 + 62,28 + 5,2 + 0,6	127,08	71,1	70,3
CH ₄	24,5	- 20,76	3,74	2,1	2,1
N ₂	12,6		12,60	7,1	8,3
Benzol	0,1		- 0,1		
			1178,48	1100,0	100,0

Die errechneten Analysenwerte stimmen mit den Betriebswerten gut überein. Der höhere Expansionsfaktor von 1,7848 gegenüber der gemessenen Expansion von 1,70 lässt bei der guten Analysenübereinstimmung auf Schieberverluste schliessen.

d) Stoffbilanz:

	Ltr. H ₂	Ltr. O ₂	Ltr. N ₂	Ltr C-haltige Gase
pro Nm ³ Ko-Gas im Spaltgas bei theoreth. Spalt.	1048,0	65,0	126,0	386
	1342,0	218,0	126,0	386
Differenz aus W.D.	+ 306,0	153,0	-	-
bei gemessener Expansion 1 : 1,7	306,0	153,0		
	1268,0	205,0	141,0	362,
Differenz aus theoreth. u. gemessener Spaltung	- 74	- 13,0	+ 15,0	- 24,0

Die Stoffbilanz zeigt, dass mit Ausnahme des Stickstoffes alle Gaskomponenten Verluste aufweisen.

Zusammensetzung des Rauchgases:

	Heizgas R.T.		R.T. O ₂	=	R.T. CO ₂	+	R.T. N ₂		R.T. WD
CO ₂	36,7		-		36,7		-		
CO	9,0	+	4,5		9,0		17,00		
C ₂ H ₄	0,2	+	0,6	=	0,4	+	2,26	+	0,4
H ₂	12,6	+	6,3	=	-	+	23,70	+	12,6
CH ₄	15,5	+	31,0	=	15,5	+	117,00	+	31,0
N ₂	26,0						26,00		
	100,0		42,4		61,6		185,96		44,0

Rauchgasmenge:

Luftmenge zur theoretischen Verbrennung von

1 Nm³ Heizgas: 42,4 R.T. O₂ + 160 R.T. N₂ = 204 R.T. Luft = 2,04 Nm³

Zugeführte Luftmenge pro Nm³ Heizgas: $\frac{23200}{2680} = 8,660 \text{ Nm}^3$

davon verbrannt

$\frac{2,040 \text{ Nm}^3}{8,660 \text{ Nm}^3}$

Überschüssige Luft

6,620 Nm³

Zusammensetzung des Rauchgases:

	Luft Nm ³	Rauchgas Nm ³		trocken Nm ³		Rauchgas + Luft feucht Nm ³	
CO ₂		0,61	=	0,61	6,7	0,61	6,4
O ₂	1,38		=	1,38	15,3	1,38	14,5
N ₂	5,24	1,86	=	7,10	78,0	7,10	74,5
W.D.	-	0,44	-	-	-	0,44	4,6
	6,62	2,91		9,09	100 %	9,53	100 %

Die Stoffbilanz zeigt einen Verlust pro Nm³ Ko-Gas von:

74 Ltr. Wasserstoff

13 Ltr. Sauerstoff

24 Ltr. C-haltigen Gasen

und einen Zuwachs von

15 Ltr. Stickstoff

Bei früheren Bilanzen ist bereits festgestellt worden, dass die Stickstoffbilanz immer einen N_2 -Überschuss im Spaltgas aufweist. Zweifelloos stammt ein Teil des Stickstoffes aus Rauchgas oder Verbrennungsluft. Setzt man hierbei den anteilmässigen Gehalt an O_2 oder CO_2 ein, so ergeben sich nachfolgende Werte:

Zu den errechneten 15 Ltr. N_2 -Zuwachs gehören:

$$CO_2 \quad \frac{6,7}{78} \cdot 15 = 1,3 \text{ Ltr. (C-haltige Gase)}$$

$$O_2 \quad \frac{15,3}{78} \cdot 15 = 2,9 \text{ Ltr.}$$

	Ltr. H_2	Ltr. O_2	Ltr. N_2	Ltr. C-haltige Gase
Differenz aus theoreth. u. gemessener Gasmenge	- 74,0	- 13,0	+ 15,0	- 24,0
Aus Rauchgas	-	- 4,2	- 15,0	- 1,3
Verlust	- 74,0	- 17,2	+ 0	- 25,3

Diese Verlustzahlen lassen sich schlecht unterbringen.

Bezieht man die Verluste auf Spaltgas, so ergeben sich folgend Werte:

74,0 Ltr. H_2 von 1 342 Ltr. H_2 im Spaltgas = 5,6 %
und anteilig:

12,0 Ltr. O_2 von 218 Ltr. O_2 im Spaltgas = 5,6 %

21,6 "C-halt. Gase v. 386 Ltr C-halt. Gasen = 5,6 %

7,1 Ltr. N_2 von 126 Ltr. N_2 = 5,6 %

Bis auf den Stickstoff stimmen diese Werte mit den aus der Stoffbilanz ermittelten Verlusten gut überein.

	Ltr. H_2	Ltr. O_2	Ltr. N_2	Ltr. C-haltige Gase
Differenz aus theoreth. u. gemessener Gasmenge	- 74,0	- 13,0	+ 15,0	- 24,0
Errechnete anteilige Verluste aus Spaltgas = 5,6 %	- 74,0	- 12,0	+ 22,1	- 21,6

Vorstehende Gegenüberstellung berechtigt zu dem Rückschluss, dass Verluste im gespaltenen Gas durch undichte Schieber usw. auftreten, obwohl der Verlust an Ko-Gas durch den Abhitzeschieber erklärlicher ist.

E) Wärmebilanz:

Sämtliche Werte auf 1 Nm³ Spaltgas bezogen.

Eingebracht:

Ko-Gas:	0,588 Nm ³ · 4413 WE/Nm ³	=	2 600 WE	70,0 %
Sättigungsdampf bei 27° C:	0,021 Nm ³		10 WE	0,3 %
fühlbare Wärme im Ko-Gas	0,588 · 0,33 · 27	=	5 WE	0,1 %
Reaktionsdampf: 3 ata Satttdampf	0,457 kg · 651,2	=	298 WE	8,0 %
Heizgas:	0,153 Nm ³ · 4413 WE/Nm ³	=	676 WE	18,1 %
Spüldampf: 3 ata Satttdampf	0,20 kg · 651,2 WE/kg	=	131 WE	3,5 %
Insgesamt eingebracht:			3 720 WE	= 100 %

Ausgebracht:

Im Spaltgas: 1 Nm ³ · 2783 WE		2 783 WE	= 74,8 %
Wärmeverlust im Spüldampf:			
1 ata 300° C			
t = 300° C			
0,2 kg · 600 WE/kg	=	120 WE	
0,2 · 0,456 · 300	=	27 WE	
Wärmeverlust im überschüssigen Dampf:		147 WE	= 3,9 %
1 ata 400° C			
Zugeführte Dampfmenge:			
0,457 kg = $\frac{0,457}{0,81}$	=	0,564 Nm ³	
Im Ko-Gas bei 27° C			
$\frac{0,588}{96,5} · 3,5$	=	0,021 Nm ³	
Gesamtreaktionsdampf		0,585 Nm ³	
Umgesetzter Dampf (s. Stoffbilanz D)			
$\frac{0,306}{1,785}$	=	0,171 Nm ³	
Überschüssiger Dampf			
0,585 - 0,178	=	0,407 Nm ³	
0,407 · 0,372 · 400	=	61 WE	
0,407 · 0,81 · 600	=	198 WE	

259 WE = 7,0 %

Übertrag: 3 189 WE = 85,7 %

Übertrag:

$$3189 \text{ WE} = 85,7 \%$$

$$\text{Wärmeverlust im Rauchgas: } t = \frac{110 + 320}{2} = 215^\circ \text{C}$$

Rauchgasmenge: (s. Stoffbilanz unter D)

$$\text{CO}_2 \quad 0,064 \cdot 0,434 \cdot 215 = 6$$

$$\text{O}_2 \quad 0,145 \cdot 0,319 \cdot 215 = 10$$

$$\text{N}_2 \quad 0,745 \cdot 0,313 \cdot 215 = 50$$

$$\text{H}_2\text{O}_D \quad 0,046 \cdot 0,363 \cdot 215 = 4$$

$$0,046 \cdot 0,81 \cdot 600 = 23$$

$$93 \text{ WE} = 2,5 \%$$

Die Dampfmenge aus der Luftfeuchtigkeit ist wegen der Geringfügigkeit nicht berücksichtigt.

Wärmeverluste durch Russbildung und undichte Schieber:

$$\text{Theoretische Spaltgasmenge: } 1,7848$$

$$\text{Gemessene Spaltgasmenge } 1,7000$$

$$\text{Verlust pro Nm}^3 \text{ Ko-Gas } 0,0848 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Verlust pro Nm}^3 \text{ Spaltgas:}$$

$$\frac{0,0848}{1,7} = 0,05 \text{ Nm}^3$$

$$0,05 \cdot 2783 = 137 \text{ WE} = 3,7 \%$$

Wärmeverluste durch fühlb. Wärme im Spaltgas:

$$t = 400^\circ \text{C}$$

$$1,00 \cdot 0,325 \cdot 400 = 130 \text{ WE} = 3,5 \%$$

Wärmeverluste durch Strahlung + Leitung (Restglied)

$$171 \text{ WE} = 4,6 \%$$

$$\text{Insgesamt ausgebracht: } 3720 \text{ WE} = 100,0 \%$$

Das zu dieser Bilanz aufgestellte Wärmeflussbild lässt erkennen, dass sich die Verluste in mässigen Grenzen halten. Am stärksten wird das Verlustkomb durch den überschüssigen W.D. belastet. Nach der Stoffbilanz beträgt die Zersetzung des zugeführten Dampfes:

$$\frac{0,171}{0,585} \cdot 100 = 29,2 \%$$

Dieser Wert ist aus der Praxis geläufig.

Wesentliche Einsparungen im Wärmehaushalt lassen sich kaum durchführen.

