Verein für die bergbaulichen Interessen
— ESSEN —
TK Lsg/Gi/Ka.

Essen, den 20. Januar 1940

A1

921

Bericht

über die Untersuchungen an der Synthesegasanlage des Treibstoffwerks Rheinpreußen in Merbeeck.

Im Auftrage der Gewerkschaft Rheinpreußen wurde durch die Firma Heinrich Koppers G.m.b.H. in Essen in den Jahren 1935 - 1939 eine Synthesegasanlage in Merbeeck errichtet, die zwecks Übernahme durch die Gewerkschaft Gegenstand der Untersuchung war.

Die Gesamtanlage gliedert sich in drei Einzelanlagen, die jedoch organisch miteinander verbunden sind, und für welche von der Firma Koppers nur eine Gesamtgewährleistung abgegeben wurde. Die Anlage gliedert sich in eine "alte", in eine "neue" Wassergasanlage und in eine Koksofengasspaltanlage.

Die alte Wassergasanlage wurde in den Jahren 1935/36 gebaut und im Oktober 1936 in Betrieb genommen. Sie besteht aus 6 Stück Drehrostwassergaserzeugern von 3,35 m Ø der Bauart Koppers mit automatischer, durch Preßluft von 5 - 6 atü betätigter Steuerung und den nachgeschalteten Reinigungsapparaten (Staubabscheider, Kühler, Regenerator mit Zündkammer für die Verbrennung der Blasegase). Der Antrieb der Roste erfolgt durch Öldruck von 250 - 300 atü. Der Unterteil des Gaserzeugers ist wassergekühlt, der obere Teil - etwa von der Rostspitze an - besitzt einen Dampfmantel zur Erzeugung von Niederdruckdampf von 0,4 - 0,5 atü. Zur Verwertung der Abhitze wurde später für je zwei Gaserzeuger ein Abhitzekessel angeschlossen.

In den Baujahren 1937 und 1938 wurde die Wassergasanlage durch die Erstellung einer neuen erweitert und im November 1938 in Betrieb genommen. Diese neue Wassergasanlage besteht aus 4 Stück Drehrostgaserzeugern von 3,35 m Ø der Bauart Koppers in etwas abgeänderter Ausführung. Die Schichthöhe im Gaserzeuger wurde vermindert, der kuppelförmige Aufbau weggelassen. Die

automatische Umsteuerung erfolgt durch Öldruck, die Umschaltapparate wurden entsprechend verkleinert und zweckmäßiger ausgeführt. Die nachgeschalteten Apparaturen und Kühler sind dieselben wie bei der alten Anlage.

Zwischen den beiden Wassergasanlagen wurde die Spaltanlage zur thermischen Zerlegung des Koksofengases der Kokerei mit Hilfe von Wasserdampf angeordnet. Diese Spaltanlage, bestehend aus zwei mit keramischem Gitterwerk versehenen Cowpern und zwei Regeneratoren, welche wechselweise betrieben werden, wird mit dem Restgas des Treibstoffwerks beheizt. Die Mischung des Spaltgases mit dem Wassergas erfolgt durch einen Mengenregler, wobei das Wassergas und das Spaltgas aus zwei Gasbehältern entnommen werden.

Auf Grund des Auftragschreibens vom 8.3.1937 wurde seitens der Gewerkschaft Rheinpreußen die vorstehend kurz beschriebene Anlage bestellt, und zwar die Lieferung einer schlüsselfertigen Synthesegasanlage, die imstande ist, in 10 Generatoren je 6 000 m^3 = 60 000 m^3/h Wassergas herzustellen (ohne Gasreserven) und die Errichtung einer Gasspaltanlage zur Spaltung von 240 000 m^3 Koksofengas in 24 Stunden. Die bereits gelieferte Generatorenanlage (alte Anlage) wird auf Wassergasbetrieb mit Abhitzeverwertung in Dampfkesseln umgestellt.

Für diese Anlage wurden seitens der Firma Koppers laut Angebot vom 8.1.1937 folgende Gewährleistungen abgegeben:

"Für den Betrieb der Anlage steht Koks folgender Beschaffenheit zur Verfügung:

Körnung		40 - 60 mm
	oder	60 - 100 mm
Aschengehalt		10 %
Wassergehalt		5 %
Kohlenstoffgehalt des Reinkokses		97 %
Aschenerweichungspunkt bei den im Generator herrschenden Verhältnissen nicht unter		1200°

Unter der Voraussetzung, daß die Betriebsführung der Anlage nach den von uns gegebenen Vorschriften erfolgt, die einzelnen Arbeitsstellen mit eingearbeiteten Kräften besetzt sind und die nlage voll ausgenutzt wird, garantieren wir:

1. eine Wassergasleistung je Generator und Stunde von 6 000 Nm^3,
2. einen Kohlenstoffverbrauch von 505 g/Nm^3 Wassergas,
3. eine Zusammensetzung des Wassergases von:

H_2	50 %
CO	40 %
CO_2	6 %
CH_4	1 %
N_2	3 %

4. eine Dampferzeugung im Generatormantel je Nm^3 Wassergas von 0,25 kg bei einer Spannung von 2,5 atü,
5. eine Dampferzeugung im Abhitzekessel je Nm^3 von 0,5 kg bei 20 atü Spannung und einer Überhitzungstemperatur von 350° C,
6. einen Verbrauch an Gas- und Spüldampf je Nm^3 Wassergas von 0,75 kg bei 2,0 atü Spannung,
7. einen Staubgehalt des gekühlten und gereinigten Wassergases von 20 mg/Nm^3,
8. eine Temperatur des gekühlten und gereinigten Wassergases nach den Wäschern von 30° C bei 15° Lufttemperatur und 70 % Luftsättigung.

Vorstehende Garantien gelten mit der üblichen Toleranz von ± 3 % für etwaige Meßfehler. Je nach der Reaktionsfähigkeit des Kokses kann eine Verschiebung des Gasausbringens gegen die Dampferzeugung je Einheit Kohlenstoff erfolgen. Beide Werte werden bei der Beurteilung der Garantien wärmewertmäßig gegeneinander ausgeglichen."

Hinsichtlich des Brennstoffbedarfs gewährleistete die Firma Koppers laut Angebot vom 16.12.35 und Brief vom 23.6.39 für je 1 000 Nm^3 Synthesegas 360 kg Reinkoks und 208 Nm^3 Koksofengas mit einer Toleranz von 5 % bei Verwendung der obenstehend geforderten Brennstoffbeschaffenheit und einer Koksofengaszusammensetzung von

Wasserstoff	mindestens	55 %
Methan	"	25 %
schwere Kohlenwasserstoffe	"	2 %
Kohlenoxyd	höchstens	5 %.

Bezüglich der Zusammensetzung des Synthesegases gab die Firma Koppers unter Voraussetzung der Einhaltung obiger Koksofengaszusammensetzung die Garantie ab, daß das zu erzeugende Synthesegas einen Gehalt an

Kohlenoxyd	von 30 %	± 0,5 %
Wasserstoff	" 60 %	± 1,0 %

enthalten wird, wobei der Gesamtgehalt des Synthesegases an $CO + H_2$ 89 % nicht unterschreiten darf.

Für die Gewährleistung und den sich daraus ergebenden Weiterungen hinsichtlich etwaiger Strafen bei Nichterreichen der Leistungsgarantien ist folgende Festlegung von Bedeutung:

"Für einen höheren Verbrauch an Reinkoks und Koksofengas vergüten wir Ihnen die Mehrkosten auf die Dauer von 5 Jahren unter Zugrundelegung eines Brennkokspreises von ℳ 20,--/t und eines Koksofengaspreises von 1,5 Pf./Nm^3, wobei unbeschadet der Garantie ein höherer Verbrauch an Koksofengas durch einen geringeren Verbrauch an Reinkoks ausgeglichen werden kann und umgekehrt."

Auf Grund dieser Vereinbarung ist die Gewährleistung für den Brennstoffbedarf der Wassergasanlage weitgehend vom Wärmebedarf für die Spaltung des Koksofengases abhängig. Der Dampfverbrauch für die Spaltung ist weder angegeben noch gewährleistet. Es ist demnach eine Beurteilung der Einhaltung der Gewährleistungen nur für die gesamte Synthesegasanlage möglich, da ohne Rücksicht auf den Wirkungsgrad der Spaltanlage für die Bewertung der Wassergasanlage nur der Gesamtkohlenstoffbedarf für die Wassergaserzeugung, für die Spaltung des Koksofengases und der erzeugten Abhitzedampfmenge maßgebend ist.

Für den Abnahmeversuch wurde zwischen dem Treibstoffwerk der

Gewerkschaft Rheinpreußen, der Firma Koppers G.m.b.H. und dem Verein für die bergbaulichen Interessen als Prüfungsinstanz die Vereinbarung getroffen, daß an Stelle eines dreitägigen Abnahmeversuchs nach den "Regeln und Richtlinien für Gewährleistungen und deren Nachweis an Gaserzeugeranlagen", Bericht des Vereins von Gas- und Wasserfachmännern am 2. Kongreß der Internationalen Vereinigungen der Gasindustrie in Zürich vom 1. - 4. September 1934, ein vierwöchentlicher Betriebsversuch treten soll, welcher vom Verein für die bergbaulichen Interessen kontrolliert und auf Grund der von der Gewerkschaft Rheinpreußen im Beisein des genannten Vereins durchgeführten Messungen durch diesen ausgewertet werden soll.

Die gegenwärtigen Kriegsverhältnisse gestatteten es nicht, die Anlage für eine kurze Zeit stillzulegen, um eine Erweiterung der Meßeinrichtungen zur Erfassung wichtiger Kenngrößen einzubauen. Es konnten daher einzelne Punkte der Gewährleistungen nicht nachgeprüft werden.

In einem kurzen Bericht vom 15.11.1939 wurden die Ergebnisse dieses Abnahmeversuchs bereits mitgeteilt. Die Betriebsergebnisse erstreckten sich im allgemeinen über einen Zeitraum von 37 Tagen, sofern nicht durch den Einbau oder Umbau neuer Meßeinrichtungen die Messungen erst zu einem späteren Zeitpunkt begonnen werden konnten. Die Ermittlungen begannen mit dem Stichtag vom 1. Oktober und dauerten bis zum 7. November 1939, eine Woche länger als ursprünglich vereinbart, weil in der Zeit vom 23. - 29. Oktober wegen Außerbetriebnahme und Wiedereinsetzens mehrerer Gaserzeuger vielleicht eine wesentliche Beeinträchtigung des Betriebes und damit eine Beeinflussung der Versuchsergebnisse hätte stattfinden können. Da eine solche jedoch nicht stattgefunden hat, konnte auch diese Versuchswoche in die Auswertung miteinbezogen werden. Aus der Reihe der Versuchstage wurde lediglich der 11. Oktober gestrichen, da an diesem Tage wegen Ausbleibens des elektrischen Stroms die ganze Anlage 3 Stunden außer Betrieb gesetzt werden mußte.

1. Brennstoffbedarf, Betriebszeit und Wassergaserzeugung.

Auf Grund der Wägungen an den einzelnen Gaserzeugern durch die automatischen Waagen mit Zählwerk wurden unter Berücksichtigung

des Nachlaufes an Brennstoff die in Betrieb befindlichen Gaserzeuger mit den in der Zahlentafel 1 angeführten Rohkoksmengen begichtet.

Es betrug demnach der Rohkoksverbrauch der alten Anlage in den 37 Versuchstagen 14 273,10 t oder 385,75 t/24 h. Der Rohkoksdurchsatz der neuen Anlage betrug in demselben Zeitraum 12 242,61 t oder 330,87 t/24 h. Im ganzen wurden demnach 26 515,71 t Rohkoks in 37 Tagen durchgesetzt oder im Tagesmittel 716,62 t.

In der Zahlentafel 2 sind die Betriebszeiten der einzelnen Gaserzeuger aufgeführt. Es wurde demnach die alte Anlage durch 3213 Betriebsstunden in 37 Tagen beansprucht oder täglich mit 86,84 Betriebsstunden, die neue Anlage im selben Zeitraum durch 2889 Betriebsstunden oder mit 78,08/Tag. Es ergaben sich somit auf jeden Tag insgesamt 164,92 Betriebsstunden oder eine volle Inbetriebhaltung von 6,87 Generatoren. Anteilmäßig waren daran beteiligt die alte Anlage mit 3,62 Generatoren und die neue mit 3,25 Generatoren.

Der Brennstoffdurchsatz durch die einzelnen Gaserzeuger betrug demnach bei der alten Anlage 106,56 t und bei der neuen 101,81 t/24 h. Im Tagesdurchschnitt für die gesamte Anlage wurden somit je Gaserzeuger 104,31 t oder je Stunde 4,35 t Rohkoks durchgesetzt. Auf Grund der in der Zahlentafel 3 angeführten Feuchtigkeits- und Aschengehalte des Rohkokses und der anteiligen Rohkoksmengen errechnet sich der mittlere Reinkoksgehalt des Rohkokses über die gesamte Versuchsdauer zu 86,43 %.

Es ergibt sich somit ein täglicher durchschnittlicher Reinkoksverbrauch von 619,37 t oder je Stunde und Gaserzeuger von 3,76 t.

In der Zahlentafel 4 sind die mit Hilfe einer Normblende gemessenen Wassergasmengen aufgezeigt, und zwar die gesamte Menge über 24 Stunden und die Menge bezogen auf die Generatorstunde nach Zahlentafel 2. Gleichzeitig sind die spez. Verbrauchszahlen an Roh- und Reinkoks angegeben. Im Mittel über die ganze Versuchszeit wurden je 24 Stunden 1 031,64 x 10^3 Nm^3 Wassergas erzeugt; es betrug demnach das spez. Gasausbringen je Generatorstunde 6 256 Nm^3 bei einem Reinkoksverbrauch von 0,600 kg/Nm^3 Wassergas.

Bei einem Kohlenstoffgehalt des Reinkokses von 97 % beträgt demnach der spez. Kohlenstoffverbrauch je Nm^3 582 g.

Die Unterteilung der Mittelwerte in der Zahlentafel 4 läßt erkennen, daß der spez. Brennstoffverbrauch in der Woche vom 23. - 31. Oktober wegen der schon erwähnten Außerbetriebnahme und des Wiedereinsetzens verschiedener Gaserzeuger besonders hoch war. Es wurde in der Berechnung des Brennstoffbedarfs die Neuauffüllung der wieder in Betrieb genommenen Gaserzeuger nicht weiter berücksichtigt und auch nicht weiter vermerkt, daß die Gasleistung eines solchen frisch angefahrenen Gaserzeugers bis zum Erreichen eines entsprechenden Temperaturgleichgewichts zurückbleibt. Für die Tage vom 1. bis zum 22.10. haben sich günstigere spez. Brennstoffverbräuche ergeben.

2. Beschaffenheit des Brennstoffs.

Hinsichtlich der Beschaffenheit des Brennstoffs kann gesagt werden, daß die Brennstoffkörnung in Ordnung war. Wie aus der Zahlentafel 3 hervorgeht, waren jedoch die Feuchtigkeitsverhältnisse sehr verschieden. Ansteigend von 1,5 % erreichte der Wassergehalt je nach Witterung und Zeit des Lagerns Werte bis 13,5 %. Der Aschengehalt schwankte in mäßigen Grenzen.

Die Mittelwerte für die Feuchtigkeit und den Aschengehalt über die gesamte Versuchszeit kommen sehr nahe an die geforderten Werte von 5 bzw. 10 % heran; sie wurden sogar um ein kleines unterschritten. Für den Feuchtigkeitsgehalt betrugen sie 4,96 % und für die Asche 8,64 %.

Weniger günstig ist das Verhalten der Asche, welche sich schon im Generatorbetrieb durch vermehrte Schlackenbildung bemerkbar macht. Besonders in den ersten Versuchstagen wurden im Laboratorium des Treibstoffwerks sehr niedrige Aschenschmelzpunkte festgestellt. Erst nach Auswahl von Kohle bestimmter Schächte konnte ein Koks zur Vergasung gebracht werden, dessen Aschenschmelzpunkt bei annähernd 1200° C lag (s. Zahlentafel 3).

Über die Reaktionsfähigkeit des Kokses können keine speziellen Angaben gemacht werden, doch läßt die verhältnismäßig geringe Gasausbeute den Schluß zu, daß der verwendete Koks schwer reaktionsfähig ist.

3. Zusammensetzung des Wassergases.

Zur Ermittlung der Wassergaszusammensetzung wurden über jeweils 24 Stunden Gassammelproben aus der unter Druck stehenden Hauptgasleitung zum Gasbehälter genommen. Zwecks Feststellung der Löslichkeit der Kohlensäure in der wässrigen Sperrflüssigkeit des Gassammelgefäßes wurden Parallelbestimmungen durchgeführt, bei welchen als Sperrflüssigkeit Quecksilber verwendet wurde. Es ergab sich bei Verwendung von wässriger Sperrflüssigkeit ein nahezu konstant bleibender Fehlbetrag an CO_2, welcher als Korrektur bei der Ausrechnung der Analysenwerte berücksichtigt wurde.

In der Zahlentafel 5 sind die Analysenresultate für die einzelnen Versuchstage und die Mittelwerte über die ganze Versuchsdauer sowie über die einzelnen Versuchsabschnitte eingetragen. Die Gaszusammensetzung war ziemlich konstant und nur in der Woche vom 21. bis 31.10. fällt ein vermehrter Gehalt an Sauerstoff und Stickstoff auf. In dieser Zeit gelangte durch den Verschleiß eines Keiles beim Luftschieber beim Gasen nach abwärts Luft in das Wassergas, besonders am 24., 25. und 26. Oktober. Nach Behebung des Defekts war die Gaszusammensetzung wieder normal. Im Mittel über die 37 Versuchstage zeigte das Wassergas folgende Zusammensetzung:

CO_2	7,39	Vol.-%
C_nH_m	0,00	" "
CO	36,69	" "
O_2	0,17	" "
H_2	50,53	" "
CH_4	0,37	" "
N_2	4,85	" "
	100,00	Vol.-%

Im Vergleich zu einer normalen Wassergaszusammensetzung zeigt sich aus den gefundenen Mittelwerten ein etwas zu geringer CO-Gehalt gegenüber einem zu hohen CO_2-Gehalt, während der Wasserstoffanteil des Gases eher etwas zu hoch als zu niedrig erscheint. Auf Grund dieser Gaszusammensetzung kann gesagt werden, daß die Gaserzeuger

etwas zu kalt gefahren wurden, d.h. mit einem zu großen Dampfüberschuß, so daß, wenn auch in geringem Maße, bereits eine Konvertierung im Gaserzeuger stattgefunden hat. Durch Verringerung der Dampfmenge könnte eine normale Wassergaszusammensetzung erreicht werden. Ihr aber steht das Ascheverhalten gegenüber, welches aus betrieblichen Gründen einen Dampfüberschuß erfordert. Durch entsprechende Einstellung der Dampfmenge unter gleichzeitiger Beobachtung des Schlakkeverhaltens und der Änderung der Gaszusammensetzung kann eine Regelung getroffen werden, die unter Vermeidung von Schlackeschwierigkeiten die bestmögliche Gaszusammensetzung liefert.

Das mittlere Verhältnis von CO : H_2 betrug 1,38, die Summe von CO + H_2 87,22 %.

4. Vergasungswirkungsgrad der Wassergasanlage.

Mit Hilfe der in den Abschnitten 1 bis 3 angeführten Verbrauchszahlen an Reinkoks und des Ausbringens an Wassergas kann der Vergasungswirkungsgrad der Anlage errechnet werden, wenn für den Kokskohlenstoff ein Heizwert von 8080 kcal/kg zugrunde gelegt wird. Aus der mittleren Wassergasanalyse ergibt sich ein oberer Heizwert von 2684 kcal/Nm^3 bzw. ein unterer Heizwert von 2438 kcal/Nm^3. Der Kohlenstoffverbrauch betrug je Nm^3 Wassergas 582 g. Es wurden demnach je Nm^3 Wassergas 4703 kcal aufgewendet. Der obere Vergasungswirkungsgrad der Anlage betrug somit, bezogen auf das reine Ausbringen von Wassergas, 57,07 %. Der Vergasungswirkungsgrad, bezogen auf den unteren Heizwert, stellte sich auf 51,84 %. Errechnet man aus den Gewährleistungszahlen der Firma Koppers den Vergasungswirkungsgrad der Anlage, dann ergibt sich bei einem Kokskohlenstoffverbrauch von 505 g/Nm^3 Wassergas und einem oberen Heizwert des Gases von 2828 kcal/Nm^3 bzw. einem unteren Heizwert von 2478 kcal/Nm^3 ein oberer Vergasungswirkungsgrad von 69,31 % bzw. ein unterer Vergasungswirkungsgrad von 60,74 %. Da von seiten der Firma Koppers ein Vergasungswirkungsgrad nicht garantiert wurde, sondern für die Beurteilung der Gesamtkohlenstoffbedarf der ganzen Synthesegasanlage einschließlich der Abhitzekessel eingesetzt werden muß, hat die Errechnung des Wirkungsgrades nur theoretische Bedeutung.

Es ist bedauerlich, daß die Messung der Wassergasmengen nicht getrennt nach der alten und der neuen Anlage vorgenommen werden konnte, da entsprechende Meßstellen nicht vorhanden waren. Es ist daher nur eine Beurteilung der Gesamtanlage möglich.

5. Spaltgaserzeugung.

Die Erfassung der Spaltgaserzeugung konnte erst ab 9.10. durchgeführt werden, da gleichzeitig auch der Dampfverbrauch und die für die Beheizung der Cowper und Regeneratoren erforderliche Restgasmenge gemessen werden mußte, wozu erst entsprechende Meßinstrumenteneinbauten erforderlich waren. Die ermittelten Versuchsergebnisse erstrecken sich somit auf die Zeit vom 9.10. bis 7.11. 1939.

Auf Grund der Zahlentafel 6 wurden im Mittel über diese 29 Versuchstage 249 100 Nm^3 Koksofengas/24 h gespalten. Diese Koksofengasmenge lieferte 401 930 Nm^3 Spaltgas. Der stündliche Koksofengasaufwand betrug demnach 10 379 Nm^3, mit welchem eine Spaltgasmenge von 16 747 Nm^3/h erzeugt wurde. Aus diesen Zahlen errechnet sich ein spez. Koksofengasverbrauch/Nm^3 Spaltgas von 0,6198 Nm^3. Hierbei gelangt ein Koksofengas zur Aufspaltung, dessen Zusammensetzung die Zahlentafel 7 wiedergibt. Man erkennt aus ihr, daß verhältnismäßig große Schwankungen in der Zusammensetzung des Koksofengases aufgetreten sind, die sich besonders im Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen, an Wasserstoff und besonders an Methan ausdrückten. Der Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen schwankte zwischen 1,0 und 2,5 %, der des Wasserstoffs zwischen 51 und 57,2 % und der des Methans zwischen 21,7 und 25,4 %. Der Gehalt gerade dieser Bestandteile ist von starkem Einfluß auf die Zusammensetzung des Spaltgases und die Gasausbringung. Im Mittel über die gesamte Versuchszeit enthielt das Koksofengas an

CO_2	2,39	Vol.-%
C_nH_m	1,78	" "
O_2	0,89	" "
CO	6,09	" "
H_2	52,97	" "
CH_4	23,87	" "
N_2	12,01	" "
zusammen:	100,00	Vol.-%

Diese Gaszusammensetzung weicht von der den Gewährleistungen zugrunde gelegten besonders im Wasserstoff- und Methangehalt erheblich ab. Während bei der Spaltung des Koksofengases von der geforderten Zusammensetzung eine Expansion von 1,82 zugrunde gelegt ist, konnte im praktischen Betrieb nur eine solche von 1,61 erreicht werden. Da in einem Nm^3 Koksofengas 0,2387 Nm^3 Methan vorhanden waren und sich in einem Nm^3 Spaltgas gemäß der Zahlentafel 8 0,019 Nm^3 Methan wiederfanden, so befinden sich in der aus einem Nm^3 Koksofengas gebildeten Spaltgasmenge von 1,61 Nm^3 0,0306 Nm^3 Methan. <u>Der Methanzersetzungsgrad betrug demnach 91,91 %.</u>

Theoretisch ergibt sich auf Grund der Koksofengaszusammensetzung bei 100 %iger Aufspaltung des Methans folgende Spaltgaszusammensetzung:

CO_2	4,54	Vol.-%	gegenüber einer gefundenen von	CO_2	4,90	Vol.-%
C_nH_m	0,00	"	"	C_nH_m	0,00	" "
O_2	0,47	"	"	O_2	0,12	" "
CO	14,69	"	"	CO	14,60	" "
H_2	73,84	"	"	H_2	70,76	" "
CH_4	0,00	"	"	CH_4	1,90	" "
N_2	6,46	"	"	N_2	7,72	" "
	100,00	Vol.-%			100,00	Vol.-%

(s.Zahlentafel 8)

Besonders abweichend von der theoretischen Zusammensetzung ist nur der Gehalt an Wasserstoff und Methan wegen des Methanzersetzungsgrades von rund 92 %.

Der mittlere Dampfverbrauch betrug nach Zahlentafel 6 182 690 kg/24 h bzw. 0,4545 kg/Nm^3 Spaltgas oder 0,733 kg/Nm^3 Koksofengas.

Zur Beheizung der Spaltanlage wurde Restgas verwendet, dessen Zusammensetzung und Heizwert die Zahlentafel 9 wiedergibt.

Der Restgasbedarf stellte sich für die Spaltung von 249 100 Nm^3 nach Zahlentafel 6 auf 97 662 Nm^3. Der spezifische Restgasverbrauch

stellt sich somit auf 0,243 Nm^3 je Nm^3 Spaltgas. Der untere Heizwert des Restgases errechnet sich auf Grund der Analyse zu 2 473 kcal/Nm^3.

Der spezifische Wärmeverbrauch errechnet sich demnach zu 599 kcal/Nm^3 Spaltgas oder zu 967 kcal/Nm^3 Koksofengas.

Dieser Wärmeverbrauch von 967 kcal/Nm^3 Koksofengas entspricht einem Kohlenstoffverbrauch von 0,1196 kg C.

Für die Erzeugung von 1 000 Nm^3 Synthesegas sind gemäß der Gewährleistung 349,6 kg Kohlenstoff und 208 Nm^3 Koksofengas erforderlich bei einer Expansion bei der Umwandlung von Koksofengas in Spaltgas von 1,82. Es mußten demnach 378,3 Nm^3 Spaltgas entstehen, die mit 621,7 Nm^3 Wassergas 1 000 Nm^3 Synthesegas ergeben. Beträgt der Kohlenstoffbedarf gemäß der Gewährleistung 505 g/Nm^3 Wassergas, so sind zur Erzeugung von 621,7 Nm^3 Wassergas 313,9 kg C erforderlich. Zur Verfügung stehen 349,6 kg Kohlenstoff, so daß für die Koksofengasspaltung 35,7 kg verbleiben. Sollen 208 Nm^3 Koksofengas gespalten werden, so entfällt je Nm^3 Koksofengas eine Kohlenstoffmenge von 0,1716 kg C. Der Kohlenstoffverbrauch bei der Koksofengasspaltung betrug jedoch nur 0,1196 kg, so daß sich je Nm^3 Koksofengas 52 g C als Gutschrift für die Wassergaserzeugung erübrigen oder bezogen auf 1 Nm^3 erzeugten Wassergases von 12,6 g C.

6. Synthesegaserzeugung.

In der Zahlentafel 10 ist die Erzeugung des Synthesegases aufgezeigt. Die Erzeugung paßt sich naturgemäß dem Betrieb an. Infolgedessen sind auch die Mengen in gewissen kleinen Grenzen schwankend. Die Synthesegaserzeugung erreichte am 22.10. ihren höchsten Wert mit 1 525 x 10^3 Nm^3 in 24 Stunden. Die geringste Menge wurde am 1.10. mit 1 376 x 10^3 Nm^3/24 h erzeugt. Das Verhältnis Wassergas und Spaltgas schwankt nur in ganz kleinen Grenzen. Diese Schwankungen sind natürlich durch den Betrieb des Treibstoffwerkes bedingt und abhängig von der jeweils geforderten Gaszusammensetzung.

Im Durchschnitt über die 37 Versuchstage wurden je 24 Stunden 1 435,05 x 10^3 Synthesegas erzeugt, welches aus 28,19 % Spaltgas und 71,81 % Wassergas zusammengesetzt war.

Die Analysen des Synthesegases ergaben folgende Mittelwerte, welche aus den Tageswerten der Zahlentafel 11 errechnet wurden:

CO_2	6,75	Vol.-%
C_nH_m	0,00	" "
O_2	0,21	" "
CO	29,99	" "
H_2	55,65	" "
CH_4	0,74	" "
N_2	6,66	" "
	100,00	Vol.-%

Das Verhältnis CO : H_2 betrug nach der Grobreinigung 1,858. Die Summe von CO : H_2 stellte sich auf 85,64 %.

7. Abhitzedampferzeugung.

Zur Zeit des Betriebsversuches waren 4 Abhitzekessel in Betrieb und zwar die Kessel I,II, IV und V. Die Messungen begannen am 13.X.1939. Die Dampferzeugung der einzelnen Kessel und die Gesamterzeugung sind in der Zahlentafel 12 zusammengestellt. Auf Grund dieser Messungen wurden je Betriebsstunde im Mittel über die gesamte Betriebszeit 6274 kg Dampf von 16 ata und 350 °C erzeugt. Bei der Dampferzeugung wurden wärmewertmäßig 5,6 % der erzeugten Dampfmenge abgeschlammt, sodaß sich die Gesamtdampfmenge unter Berücksichtigung des Abschlammwassers auf 6625 kg/h erhöht. Es ergibt sich somit eine Dampferzeugung von 1,06 kg/Nm^3 Wassergas. Die Mehrerzeugung beträgt demnach 0,56 kg Dampf je Nm^3 Wassergas. Der Wärmeinhalt des Wasserdampfes bei einer Überhitzungstemperatur von 350 °C und 16 ata beträgt 752 kcal/kg. Der Wärmeaufwand betrug demnach bei einer Speisewassertemperatur von 65 °C 687 kcal/kg. Für 0,56 kg mehrerzeugten Dampf wurden 384,5 kcal aufgewendet. Die 384,5 kcal entsprechen einer Kohlenstoffmenge von 47,6 g C, welche nach den Gewährleistungen als Gutschrift dem garantierten Kohlenstoff für die Wassergaserzeugung zugeschlagen werden.

8. Kohlenstoffverbrauch für die Wassergaserzeugung auf Grund der Gewährleistung.

Gewährleistet wurde je Nm^3 Wassergas ein Kohlenstoffverbrauch von 505 g. Hinzu kommt eine evtl. Gutschrift aus dem Minderverbrauch an Heizgas bei der Spaltanlage und eine Gutschrift aus der Mehrerzeugung an Abhitzedampf. Im Abschnitt 6 wurde festgestellt, daß die Brennstoffersparnis bei der Koksofengasspaltung auf Wassergas umgerechnet 12,6 g/Nm^3 Wassergas beträgt. Aus der Mehrerzeugung von Abhitzedampf ergibt sich eine Gutschrift von 47,6 g C je Nm^3 Wassergas, sodaß die Summe der Gutschriften 60,2 g C beträgt. Es ergibt sich somit ein zulässiger Kohlenstoffverbrauch für die Wassergaserzeugung von 565,2 g. Unter Berücksichtigung einer Toleranz von 5 % ist noch ein Verbrauch von 590,2 g Kohlenstoff zugelassen. Der wirkliche Verbrauch betrug jedoch nur 582 g C/Nm^3 Wassergas. Die Garantie ist damit erfüllt.

9. Erzeugte Dampfmenge im Dampfmantel der Gaserzeuger und Dampfverbrauch für die Wassergaserzeugung.

Infolge Fehlens einwandfreier Meßstellen konnten diese Kenngrößen nicht ermittelt werden. Nach den Gewährleistungen sollen je Nm^3 Wassergas 0,25 kg Dampf von 2,5 atü erzeugt werden. Da nach den Erfahrungen bei anderen Anlagen noch größere Dampfmengen erhalten werden, kann angenommen werden, daß die Gewährleistung erfüllt wird.

Hingegen scheint der Wasserdampfverbrauch zur Erzeugung des Wassergases, welcher in den Gewährleistungen mit 0,75 kg bei 2,0 atü Spannung je Nm^3 Wassergas angegeben ist, etwas zu niedrig ~~angegeben ist~~, wenn man berücksichtigt, daß die Gaserzeuger mit einem Dampfüberschuß arbeiten, welcher sogar eine geringe Konvertierung zur Folge hat.

Eine Nachprüfung dieser Gewährleistung kann nur nach dem Einbau von Spezialinstrumenten erfolgen, mit deren Hilfe es möglich ist, während der kurzen Gasperioden gleichzeitig den Dampfverbrauch und die Menge des erzeugten Wassergases in auswertbaren Diagrammen zu erfassen. Die erforderlichen Apparate sind seit einigen Monaten bestellt, jedoch noch nicht zur Lieferung gebracht worden. In der Zwischenzeit wäre für die Her-

stellung einer normgerechten Meßstrecke Sorge zu tragen.

10. Staubgehalt des gekühlten und gereinigten Wassergases.

Als max. Staubgehalt des gekühlten und gereinigten Wassergases werden in den Gewährleistungen 20 mg/Nm^3 Wassergas angegeben. Diese Zahl konnte während des Betriebsversuches nicht erreicht werden, da die Spritzdüsen in den Kühlern schon reichlich verschmutzt und zum großen Teil durch einfache Spritzteller ersetzt worden waren. Während der Versuchszeit betrug der mittlere Staubgehalt des gereinigten und gekühlten Gases 41,4 mg/Nm^3.

11. Temperatur des gekühlten und gereinigten Wassergases.

Auf Grund der Gewährleistung soll das Gas nach den Wäschern auf eine Temperatur von 30 °C bei 15° Lufttemperatur und 70 % Luftsättigung herabgekühlt sein. Die Gewährleistung hat wenig Bedeutung, da ein Höchstverbrauch an Kühlwasser nicht angegeben ist. Die gegebene Gewährleistung ist unbeschadet des Wasserverbrauches ohne weiteres erreichbar.

12. Betrieblicher Zustand der Wassergasanlage.

Alle Wassergasanlagen mit intermettierendem Betrieb sind einem hohen Verschleiß ausgesetzt. Der Verschleiß ist umso größer, je öfter der Wechsel von Heißblasen und Gasen stattfindet. In erster Linie bedingt der wechselnde Betrieb Temperaturschwankungen, die sich auf die Werkstoffe ungünstig auswirken. Aber auch chemische Einwirkungen spielen im Verschleiß ein große Rolle. In den Heißblasegasen ist es die schwefelige Säure, die zu Korrosionen führt, im Wassergas der Wasserstoff, der eine Entkohlung der verwendeten Gußteile hervorruft. Es ist Aufgabe der Konstruktion, diesen Schwierigkeiten zu begegnen.

Während des Betriebsversuches haben sich Schäden hauptsächlich in einem frühzeitigen Verschleiß der Gichtverschlüsse bei der neuen Anlage gezeigt. In der verhältnismäßig kurzen Zeit seit der Inbetriebnahme mußten bereits mehrfach die Kegel-

verschlüsse erneut werden, da sich Sprünge und Risse zeigten, die zu einem völligen Auseinanderfallen führten. Während diese Kegelverschlüsse bei der alten Anlage in einem kuppelförmigen Aufbau liegen und daher dem direkten Anprall des heißen Gasstromes entzogen sind, liegen die Verschlüsse der neuen Anlage in Berührung mit denselben. Infolge der geringeren Bauhöhe der Gaserzeuger der neuen Anlage gegenüber der der alten Anlage, ist auch die Temperatur eine wesentlich höhere. Es wäre zweckmäßig, die Kegelverschlüsse so zu legen, daß sie in einem verrengten zylindrischen Aufbau zu liegen kommen, welcher von einem kleineren Querschnitt ist, als der des Gaserzeugers. Dadurch könnte auch ein zweiter Übelstand beseitigt werden, der sich darin zeigt, daß die Brennstoffschicht im Gaserzeuger einen hohlen Kegel mit der Spitze nach abwärts bildet, daß also die Brennstoffsäule am Mantel des Gaserzeugers am höchsten, über der Ebene der Rostspitze am kleinsten ist. Dieser zylindrische Aufsatz würde verhindern, daß beim Öffnen des Kegelverschlußes der Brennstoff gegen den Generatormantel fällt. Die Brennstoffschicht würde gleichmäßiger, weil der Weg des Gasstromes beim Blasen und Gasen besser über den ganzen Querschnitt verteilt wird.

Durch den Einbau neuer Roste in die Neuanlage, wurde durch eine flachere Formgebung die Brennstoffsäule erhöht, wodurch eine Senkung der Gastemperaturen und eine längere Verweildauer des Gasstromes im Feuerbett erzielt wurde. Durch eine ringförmige Dampfzuführung unter dem Rost wurde die Dampfverteilung verbessert und ein günstigerer Ausbrand in der Schlacke erzielt. Durch diese Maßnahmen kann zweifellos der spezf. Verbrauch an Koks ermäßigt bzw. das Wassergasausbringen vermehrt werden.

Diese Maßnahme betrifft jedoch nicht allein die neue Anlage sondern auch die alte. Hier ist besonders dafür Sorge zu tragen, daß der Abstand des Rostfußes vom Generatormantel entsprechend verkleinert wird, wodurch ein Austragen von unverbrauchtem Koks verhindert bzw. eingeschränkt wird.

Über den Einfluß der Umsteuerungsvorrichtung auf die Leistungsfähigkeit der Gaserzeuger, mögen nachstehende Mittelwerte aus einer großen Zahl von Ermittlungen einen Einblick geben:

Aufteilung der Zeit innerhalb einer Umstellperiode.

Vorgang:		Anlage 1	Anlage 2
1. Gesamtzeit der Periode	Sekunden	240,8	199,3
2. Blasen	"	80,4	73,2
3. Spülen	"	6,1	4,2
4. Gasen von unten	"	63,2	51,6
5. Gasen von oben	"	43,5	48,8
6. Spülen	"	5,5	3,6
Summe 2 - 6	Sekunden	198,7	181,4
Leerlauf (1- (2 bis 6))	"	42,1	17,9

Es ist demnach bei der alten Anlage eine Leerlauf-zeit von 21,2 %, während einer Umstellperiode festzustellen, während die Leerlaufzeit bei der neuen Anlage nur 9,87 % beträgt.

Es beträgt demnach bei der alten Anlage bei einer möglichen Anzahl von 434,8 Umstellungen in 24 Stunden, die tägliche Leerlaufzeit 5,08 Stunden. Hingegen errechnet sich die Leerlaufzeit bei der neuen Anlage bei einer möglichen Anzahl von 476,3 Umstellperioden zu 2,37 Stunden in 24 Stunden. Es ist demnach die Leerlaufzeit der Umstellvorrichtung bei der alten Anlage doppelt so groß als bei der neuen Anlage. Diese Leerlaufzeit würde sich noch vergrößern, wenn die Zeitdauer des Blasens und des Gasens bei der neuen Anlage erhöht wird, bzw. wenn diese Zeiten in beiden Anlagen gleich wären. Demnach ist durch einen Umbau des automatischen Schaltapparates die Leistungsfähigkeit der alten Anlage um nahezu 10 % zu erhöhen.

Es muß späteren Versuchen überlassen werden, die Gaserzeugung während einer Umstellperiode in den einzelnen Gaserzeugern festzustellen und gegeneinander abzuwägen. Erst diese Messungen können eine völlige Klärung darüber bringen, welche Maßnahmen notwendig sind, um eine weitere Steigerung sowohl der spezf. Gasausbeute, als auch der Gesamtleistung über den bisherigen Rahmen hinaus herbeizuführen.

Jede Wassergasanlage erfordert eine sorgsame Überwachung besonders in der Austragung der Schlacke. Das Austragen muß so geregelt sein, daß der Rost stets mit einer etwa 100 mm starken Schlackenschicht überdeckt ist. Diesbezügliche Messungen müssen mindestens einmal in jeder Schicht vorgenommen werden,

denn ein Zuviel an Austrag bedeutet Brennstoffverlust und Gefährdung des Rostes; ein Zuwenig die Verlagerung des Feuerbettes nach oben und die Gefahr der Verschlackung.

13. Kraftverbrauch der Synthesegasanlage.

Hinsichtlich des Kraftverbrauches der Anlage wurden keinerlei Gewährleistungen gefordert und abgegeben. Seine Erfassung wäre jedoch erwünscht, besonders dann, wenn die Eigendampferzeugung in der Anlage nicht ausreicht, den Kraftbedarf zu decken. Aus diesem Grunde läßt sich auch eine Wirtschaftlichkeitsberechnung in exakter Form nicht durchführen, zumal auch die Dampfverbrauchs- und Dampferzeugungsziffern der Wassergasanlage fehlen.

14. Zusammenfassung.

Auf Grund des Betriebsversuches wurde versucht, ein möglichst vollkommenes Bild über die von der Firma Koppers eingegangenen Verpflichtungen nach den geboteten Gewährleistungen zu erhalten. In den wichtigsten Teilen konnten sie überprüft werden und sind nachstehend kurz aufgeführt.:

1. Leistung der Wassergaserzeuger:

Gewährleistet: 6000 Nm^3/Gaserzeuger und Stunde
Festgestellt: 6256 Nm^3/ Gaserzeuger und Stunde

2. Kohlenstoffverbrauch der Wassergasanlage:

Gewährleistet: 505 g/Nm^3 Wassergas zuzüglich die Ersparnisse an Brennstoffbedarf für die Koksofengasspaltung und die Einrechnung des Kohlenstoffbedarfes für die Mehrerzeugung von Abhitzedampf, insgesamt unter Einrechnung einer Toleranz von 5 % somit 590 g/Nm^3 Wassergas.

Festgestellt: 582 g/Nm^3 Wassergas.

3. Zusammensetzung des Wassergases:

Gasanteile:		Gewährleistung:		Feststellung:
CO_2	Vol.-%	6,00	Vol.-%	7,39
C_nH_m	"	0,00	"	0,00
O_2	"	0,00	" "	0,17
CO	"	40,00	"	36,69
H_2	"	50,00	"	50,53
CH_4	"	1,00	"	0,37
N_2	"	3,00	"	4,15
	Vol.-%	100,00	Vol.-%	100,00

Gaskonzentration: $CO + H_2$

Gewährleistet: 90 %
Festgestellt: 87,22 % unter Einschluß von 3 %
Toleranz: 89,74 %

4. Leistung der Spaltgasanlage:

Gewährleistet: 7500 Nm^3 Koksofengas stündlich.
Festgestellt: 10379 " " "

5. Kohlenstoffverbrauch der Spaltgasanlage: 0,171 kg/Nm^3 Koksofengas

Gewährleistet: " " "

Festgestellt: 0,1196 " "

6. Staubgehalt des Wassergases:

Gewährleistet: nicht über 20 mg/Nm^3 Wassergas
Festgestellt: 41,4 mg/Nm^3 Wassergas

7. Gastemperatur:

Gewährleistet: 30 °C bei 15 °C Lufttemp. und 70 % Luftsättigung
Festgestellt: Jeder Zeit erreichbar.

8. Dampferzeugung im Generatormantel und Dampfverbrauch für die Wassergaserzeugung:

Konnte infolge Mangels geeigneter Meßinstrumente und Meßstellen vorläufig nicht festgestellt werden.

9. Dampferzeugung in den Abhitzekesseln:

Gewährleistet: 0,5 kg je Nm^3 Wassergas.
Festgestellt: 1,06 " " " "

Auf Grund dieser Feststellungen sind die Gewährleistungen der Firma Koppers G.m.b.H. gemäß des Vertrages vom 16.12.1935 und den Vereinbarungen vom 9.3.1937 in der Hauptsache als erfüllt anzusprechen. Das Erreichen der Garantien konnte nur durch eine sinnvolle Ergänzung und Kombination der Wassergasanlagen mit der Koksofengasspaltanlage erfolgen, welche in der Vergasungstechnik erstmalig zur Anwendung gelangt ist.

Es steht fest, daß die Leistungszahlen über die Garantiewerte hinaus noch gesteigert werden können, wenn geeignete Maßnahmen zur Behebung von Mängeln getroffen werden, die, wie im Abschnitt 12 kurz geschildert, außerhalb der Gewährleistungen liegen. Weitergehende Maßnahmen können erst nach vergleichenden Versuchen zwischen der alten und neuen Anlage angeregt werden, wenn Dampfverbrauch, Gasausbringen und Dampferzeugung in den Dampfmänteln der einzelnen Gaserzeuger genau festgestellt sind.

Hans Lessing.