

A b s c h r i f t

Braunkohle-Benzin A.-G.
Werk Ruhland

Ruhland, den 4. Jan. 1938
II./Syn./Wr./Pa.

A k t e n v e r m e r k 677

Verfasser: Dr. Weingaertner

Betr.: Referat über Verunreinigungen im Synthesegas und deren Einwirkung
auf die Leistung und Lebensdauer der Kontakte. Betriebsergebnisse.

=====

1.) Schwefel

Nachweis der schädigenden Wirkung.

Hier ist die allgemeine betriebliche Beobachtung zu erwähnen, dass in der Zeit eines erhöhten Schwefeldurchschlags der Feinreinigung (mehr als 0,5 g organischer Schwefel / 100 m³) die Kontakte mit niedrigem Wirkungsgrad und kürzerer Lebensdauer arbeiten. Besonders schädigend ist ein höherer Gehalt an organischem Schwefel, da dieser zum Teil durch den Kontakt hindurchgetragen wird und so auf die gesamte Kontaktschicht einwirkt.

Der auf den Kontakt gebrachte Schwefel wird hauptsächlich in den obersten Schichten abgefangen. Beispiel: Ofen Nr. 7: Schwefelgehalt der obersten Schicht = 1,62 %; Schwefelgehalt der untersten Schicht = 0,25 %; Schwefelgehalt der Durchschnittsprobe = 0,30 %. Auf Grund dieser Zahlen kann eine Schwefelbilanz aufgestellt werden. Der Kontakt hat 2,632 Mio m³ Synthesegas verarbeitet mit einem mittleren S-Gehalt von 0,45 g/100 m³. Hieraus errechnet sich eine Gesamtschwefelaufnahme von 11,845 kg S. Auf die eingesetzte Kontaktmasse von 6040 kg umgerechnet, wird ein Schwefelgehalt der Masse von 0,2% gefunden. Da ein Frischkontakt ca. 0,1 g Schwefel bereits enthält, ist die Übereinstimmung befriedigend.

Ein weiterer Nachweis der schädigenden Einwirkung eines höheren Schwefelgehalts bringt der Vergleich der Kontaktleistung zwischen Ruhland I und Ruhland II. Bei einem mittleren Schwefelgehalt des Synthesegases in Ruhland I von 0,4 - 0,5g/ 100 m³ Sy-Gas arbeiten die Kontakte bei einer Laufzeit von 2000 Stunden mit durchschnittlicher Kontraktion von 50 %. In Ruhland II, Stufe II, arbeiten die Kontakte bei einem Schwefelgehalt von 0,7 - 0,8 g/ 100 m³ Sy-Gas mit einer mittleren Kontraktion von nur 35 % bei gleicher Laufzeit.

Untersuchungen über die Einwirkung der Schwefelverbindungen auf Kontakte.

Die Laborergebnisse einer besseren Kontaktwirkung durch Vorschalten einer Nachreinigung des Synthesegases mit A-Kohle konnten im gewissen Umfange bestätigt werden. Über eine längere Zeit (1400 Std.) konnte der Ofen auf über 50 % Kontraktion gehalten werden. Der Abfall in der Kontraktion erfolgte langsamer als bei der Betriebsweise mit normal gereinigtem Synthesegas. Das A-Kohle-Filter (Vorschaltung von Ofen 96 mit A-Kohle-Füllung von Ofen 97) war jedoch nicht regenerierbar, sodass der Zeitpunkt der Erschöpfung der A-Kohle nicht mit Sicherheit festgestellt werden konnte. Ein weiterer Versuch mit einer vorgeschalteten regenerierbaren A-Kohle-Anlage (vor Ofen 59) ist seit kurzem in Betrieb. Zum besseren Vergleich des verschiedenen Verhaltens wurden 2 kohlensäuregetränkte Kontakte nach vorherigem guten Mischen in die Öfen 59 und 23 eingefüllt, von denen Ofen 59 mit vorgeschalteter A-Kohle arbeitet. Beide Kontakte wurden möglichst gleich hinsichtlich Temperatursteigerung, Gasbeaufschlagung und Hydrierung gefahren. Die Kontrolle erfolgt mittels Gasanalysen und Teilprobenmessungen des gebildeten Öls, Benzins und Gasols. Die Ergebnisse sind bisher nicht günstiger als bei Fahrweise mit normalgereinigtem Synthesegas. Der Ofen mit vorgeschalteter A-Kohle hat eine zwar beständigere, aber niedriger liegende Kontraktion (siehe Diagramm). Dieser Unterschied ist vorerst noch nicht zu erklären. Er kann mit dem geringeren Widerstand des Ofens 59 (117 mm W.S. bei 1000 m³/h

Gasdurchgang) gegenüber Ofen 23 (145 mm W.S. bei 1000 m³/h Gasdurchgang) zusammenhängen. Ofen 59 erhält wegen der vorgeschalteten A-Kohle ein Synthesegas von 25°, Ofen 23 dagegen 130° heisses Synthesegas. Bei Ausschaltung des Temperaturunterschieds durch kurzzeitiges Fahren des Ofens 59 (auf 3 Tage) mit normalgereinigtem Synthesegas unter Ausschaltung der A-Kohle-Anlage konnte kein Unterschied in der Fahrweise, der durch diesen Temperaturunterschied hervorgerufen wäre, festgestellt werden. Hinter der A-Kohle wird ein Schwefelgehalt von 0,1 - 0,2 g/100 m³ Sy-Gas erreicht.

Im Dezember 1936 wurde ein Ofen unter Vorschaltung eines mit ausgebrauchter Kontaktmasse gefüllten Ofens gefahren (Ofen 19 mit Ofen 18 vorgeschaltet). Diese Fahrweise, bei der ebenfalls ein Schwefelgehalt vor dem Ofen von 0,1 - 0,2 g/100 m³ erzielt wurde, brachte gegenüber den damaligen Betriebsergebnissen eine geringe Verbesserung in der Kontraktion, sowie eine bessere Konstanz. Die Produkte dieses Ofens wurden nicht untersucht, dagegen wurde festgestellt, dass der mit 120° arbeitende Vorschaltofen mit 1,3 g Benzin /m³ an der Produktion beteiligt war.

Ein weiterer allgemeiner Nachweis der schädigenden Einwirkung von Schwefelverbindungen auf die Kontakte ist das Verhalten der Kontakte in der zweiten Stufe, wo die Dauerschädigung erheblich geringer ist. Man erreicht hier Laufzeiten von 4-5000 Std. gegenüber max. 3000 Std. in der ersten Stufe, (siehe Diagramm).

2.) Harzbildner.

Betriebliche Beobachtungen über die schädigende Einwirkung von Harzbildnern auf die Wirksamkeit der Kontakte liegen bisher erst wenige vor. Es wird angenommen, dass Harzbildner die Schwelreinigung beeinflussen und so z.B. zur Neubildung von Schwefelverbindungen in der Feinreinigung Veranlassung geben können. Beim Ausbringen von Kontakten aus Ofen wurden mitunter pechartige Ablagerungen ^{an Lamellen d. Vorschaltofens beobachtet.} vom im Gas vorhandenen Harzbildnern her-rühren, oder sich aus Schwefelverbindungen gebildet haben,

* *an Harz Ablagerungen*

konnte bisher nicht mit Sicherheit entschieden werden.

Mit Hilfe der A-K-Versuchsanlagen konnten aus dem Gas vor der Feinreinigung und vor den Kontaktöfen grössere Mengen von Kohlenwasserstoffen isoliert werden, die sowohl auf Harz-bildner als auch auf Schwefelverbindungen untersucht werden sollen. Es wurde festgestellt, dass im Gas vor den Kontaktöfen diese Kohlenwasserstoffe in einer Konzentration von 0,5 - 1,0 g/m³ Sy-Gas enthalten sind. Im Gas vor der Feinreinigung wurden dagegen Kohlenwasserstoffe in einer Konzentration von nur 0,1 - 0,2 g/m³ Sy-Gas gefunden. Es muss daher angenommen werden, dass dieser Zuwachs an Kohlenwasserstoffen durch Nebenreaktionen in der Feinreinigung zustande kommt. Eine Bestätigung dieser Feststellung ist die oft gemachte Beobachtung, dass der Formalin-Schwefelsäure-Test im Gas hinter der Feinreinigung dunklere Färbungen gibt als im Gas vor der Feinreinigung. Aus dem mit vorgeschalteter A-Kohle laufenden Versuchskontakt ist allerdings bisher eine Einwirkung durch diese Kohlenwasserstoffe im positiven oder negativen Sinne nicht zu erkennen.

3.) Einwirkung des Sauerstoffs als Verunreinigung.

Hierüber liegen noch keine eindeutigen Betriebsergebnisse vor. Durch Laboruntersuchungen ist festgestellt, dass ein Sauerstoffgehalt von mehr als 0,12 Vol. % stark schädigend auf die Kontakte wirkt (Bericht Nr. 28 vom 17.3.37). Von der Feinreinigung her, die mit Luftzusatz arbeitet, werden normalerweise 0,02 Vol. % Sauerstoff durchgelassen. Die gleiche Konzentration wird auch im Gas hinter den Kontaktöfen festgestellt. Wie weit durch diese Sauerstoffmenge eine Beeinflussung der Synthese auf die Dauer erfolgt, ist bisher nicht bekannt. Es steht fest, dass die kohlen-säuregetränkten Kontakte trotz erhöhter Luftempfindlichkeit beim Einfüllen insgesamt nicht schlechter als die ölgetränkten Kontakte, teilweise sogar besser als diese arbeiten. Selbst an kohlen-säuregetränkten Kontakten, die beim Einfüllen in den Ofen teilweise zum Aufglühen kamen, konnte keine nachteilige Einwirkung festgestellt werden, wie aus den Ergebnissen der Öfen 5, 13, 18 und 105 hervorgeht. Ofen 5 Kontraktion nach 500 Std. 64 %, nach 1000

Stunden 54 %, nach 1500 Std. 55 %, nach 2000 Std. 52 %, Ofen 13 nach 500 Std. 60 %, nach 1000 Std. 52 %, nach 1500 Std. 34 %, nach 2000 Std. 42 %. Ofen 18 nach 500 Std. 67 %, nach 1000 Std. 60 %, nach 1500 Std. 58 %, nach 2000 Std. 55 %. Ofen 105 nach 500 Std. 63 %, nach 1000 Std. 52 %, nach 1500 Std. 51 %, nach 2000 Std. 51 %. Die Öfen wurden in dieser Zeit 4 - 7 mal hydriert. Diese Zahlen zeigen im Vergleich zu den Durchschnittszahlen der Synthese aus der gleichen Zeit (20.7. - 15.11.37) keine Verschlechterung. Die Einzelheiten der Laufzeiten sind aus den beigegeführten Diagrammen zu entnehmen. Die obigen Zahlen gelten durchgängig für eine Gasbeaufschlagung von 1050 m³ im Mittel.

4.) Einwirkung der Inertbestandteile des Synthesegases, wie CO₂-Gehalt, CH₄ - und N₂-Gehalt.

Bezüglich der Einwirkung der Kohlensäure ist öfter die Vermutung einer Carbonatbildung mit Co und Thorimoxyd ausgesprochen worden. Eine Bestätigung hierfür konnte bisher eindeutig nicht erbracht werden.

Bei gelegentlichen Gaszusammensetzungsänderungen, die mit einer Steigerung des Kohlensäuregehaltes bzw. Senkung des CO + H₂-Gehaltes verbunden waren, wurde in dem Konzentrationsbereich um 80 % CO + H₂ immer eine lineare Änderung der Kontraktion festgestellt. Erhöhte sich der CO + H₂ - Gehalt von 80 auf 83 %, so trat eine Kontraktionserhöhung von anähernd 5 % auf, bzw. wurden die umgekehrten Verhältnisse bei entsprechender Erniedrigung des CO + H₂ - Gehaltes beobachtet.

Eine Aufarbeitung der Kohlensäure durch Umsatz mit Wasserstoff ist bisher nicht beobachtet worden, dagegen wurde bei schroffer Temperaturerhöhung an Kontakten mitunter eine zusätzliche Kohlensäurebildung mit Sicherheit aufgefunden. Diese Kohlensäurebildung ist stets mit einer höheren Methanbildung verbunden. Ihr Vorhandensein geht aus einer grösseren Abweichung zwischen Kohlensäure- und Stickstoffkontraktion hervor, wenn die Kohlensäurekontraktion wesentlich höher liegt als die Stickstoffkontraktion. Über die Wirkung von Methan und Stickstoff ist bisher betrieblicherseits nichts bekannt.

Hierher gehört ein Versuch zur Verbesserung der Kontaktleistung durch Erhöhung des Wasserstoff-Kohlenoxydverhältnisses mittels Zusatz von Wasserstoff zum Synthesegas. Mit dem Ziel, die intermittierende Hydrierung von Kontakten durch eine laufende Hydrierung zu ersetzen, wurde versuchsweise das H_2/CO -Verhältnis von 1,97 auf 2,05 bzw. von 1,99 auf 2,4 erhöht. Weiter war zu erwarten, dass die Zusammensetzung der gebildeten Flüssigprodukte eine andere sein werde. Die Versuche, die an einem 1630 Stunden alten Kontakt durchgeführt wurden, zeigten nur eine vorübergehende Besserung der Kontraktion, unter Erhöhung der Benzinbildung und Verminderung der Ölbildung (siehe Aktenvermerk Nr. 499 vom 15.10.1937). Bei diesen Versuchen, die bei der recht hohen Temperatur von 197° durchgeführt wurden, hatte es den Anschein, als ob der Wasserstoffzusatz eine stärkere Paraffin- und Ölsplaltung zu Benzin und Methan bewirkt hat. Die Versuche sind als Vorversuche anzusehen.

Es wird vermutet, dass bei entsprechender Reduktion des Wasserstoff-Kohlenoxydverhältnisses, das bisher noch nicht durchgeführt werden konnte, eine Verschiebung nach der Ölseite und zu olefinreicheren Produkten eintreten wird.

Bei erheblich niedrigeren $CO + H_2$ - Konzentrationen, wie sie z.B. im Gas der zweiten Stufe gegeben sind, ist der Gasumsatz dem Kohlenoxydwasserstoffgehalt nicht mehr linear proportional, wie aus folgendem Beispiel hervorgeht:

1 Kontakt der ersten Stufe arbeitet bei 83 % $CO + H_2$ -Gehalt mit einer Kontraktion von 65 % = $65 : 83 = 78,3$ %, bezogen auf Idealgas bei linearer Umrechnung.

1 Kontakt der zweiten Stufe arbeitet bei 55 % $CO + H_2$ -Gehalt mit einer Kontraktion von 38 % = $38 : 55 = 69,1$ %, bezogen auf Idealgas bei linearer Umrechnung.

Die Gegenüberstellung dieser beiden Rechnungen zeigt, dass mit sinkender Konzentration des $CO + H_2$, bezogen auf den $CO + H_2$ - Einsatzes, die Aufarbeitung schlechter geworden ist.

Interessant ist ein Vergleich zwischen der in der ersten und zweiten Stufe von Durchschnittsöfen während ihrer gesamten Laufzeit erzielten Flüssigprodukten. Laut Aktenvermerk Nr. 527 vom 30. Oktober 1937 wird mit Kontaktöfen der ersten Stufe bis zu einer Laufzeit von 2500 Std. eine Produktion von rd. 200 t erzielt. Auf Grund von Rechnungen an zwei willkürlich gewählten Öfen der zweiten Stufe (Ofen 132 und Ofen 143) wurden aus deren Kontraktionen unter Benutzung des Umrechnungsfaktors 1,5 bei einer Laufzeit von 4200 Std. Leistungen von 215 t Flüssigprodukte errechnet.

- 5.) Versuche zur Vermeidung der vorstehend aufgezählten Einflüsse in ihrer Gesamtheit.

Es wurden eine Reihe von Versuchen angestellt, die darauf hinausliefen, die Wirkungen der Synthesgas-Verunreinigungen

- a) durch Erhöhung des Gasdurchsatzes,
- b) durch Verminderung der Schichthöhe

zu vermindern. Beide Versuchsreihen gehen darauf hinaus, die Berührungsdauer am Kontakt zu verkürzen.

Zu a):

Vorversuche hatten gezeigt, dass bei erhöhtem Gasdurchsatz (siehe Aktenvermerk Nr. 530 vom 28.10.37) bis zu $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ die Kontraktion zwar sinkt, und mit ihr die spezifische Ausbeute, dass dagegen die Gesamtproduktion in Tonnen pro Tag ausgedrückt, schwach ansteigt. In diesem Ergebnis lag ein Anreiz, eine Fahrweise mit höherem Gasdurchsätzen näher zu prüfen. Augenblicklich werden Vergleichsversuche durchgeführt zwischen der Kontaktleistung beim Durchsatz von 1000 m^3 gegenüber $1300 \text{ m}^3/\text{h}$. Soweit sich die Ergebnisse bis heute überblicken lassen, liegt die spezifische Ausbeute bei dem Ofen mit der höheren Gasbeaufschlagung im Mittel nur um 5 g niedriger, in der absoluten Ausbeute dagegen um rd. 20 % höher. Beim Fahren mit einer höheren Gasmenge tritt eine Verschiebung der Flüssigproduktenbildung nach der Benzinseite auf, gleichzeitig wird ein olefinreicheres Benzin gebildet.

Die Fahrweise mit höherem Gasdurchsatz der Öfen der ersten

Stufe hat zur rentablen Durchführung die Erhöhung der Belastung der Öfen der zweiten Stufe zur Folge. Es wurde festgestellt, dass die Öfen der zweiten Stufe bis auf 1400 m^3 belastet werden können, ohne einen merklichen Rückgang der Kontaktleistung. Diese erhöhte Belastung kann bis zu einer Laufzeit von 4000 Std. beibehalten werden. Es tritt hier ebenfalls eine schwache Verschiebung nach der Benzinseite auf.

Die extreme Lösung der Fahrweise mit erhöhter Gasgeschwindigkeit stellt das Kreislaufverfahren dar. Mehrere an 2 Kontaktöfen durchgeführte Versuche (siehe Aktenvermerk Nr. 659 vom 23.12.37 und Aktenvermerk Nr. 547 vom 26.10.37) haben die Durchführbarkeit dieser Fahrweise erwiesen. Mit steigendem Verhältnis von Kreislaufgas zu Frischgas wird die Kontraktion im Ofen selbst stark erniedrigt, die Kontraktion des gesamten Kreislaufs dagegen konstant erhalten, ja gegenüber der Normal-Synthese noch um 5% erhöht. Die Kreislaufkontraktion ist abhängig von der Frischgasbeaufschlagung. Sie steigt mit sinkender Frischgasmenge annähernd linear an. Bei den Kreislauföfen wurde über die gesamte Versuchszeit einer jeden Versuchsetappe praktisch kein Abfall der Kontraktion beobachtet. Wurde das Kreislaufgas/Frischgasverhältnis bis auf einen Wert von 3,46 gesteigert bei gleichzeitigem Abfallen der Ofenkontraktion auf 13% , so kam die Dampfentwicklung zum Erliegen. Bei weiterer Steigerung musste der Ofen zusätzlich geheizt werden. Ebenfalls mit steigendem Verhältnis von Kreislaufgas zu Frischgas ging die Ölproduktion zu Gunsten einer höheren Benzinproduktion zurück und wurde bei einem Verhältnis von 2,5 praktisch gleich Null. Es war eine absolute Lenkung der Syntheseprodukte nach der Benzinseite hin eingetreten.

Zu b):

Zur Verringerung der Verweilzeit am Kontakt kann bei konstantem Gasdurchsatz die Kontaktschichthöhe selbst verringert werden. Versuche in dieser Richtung wurden mit den Öfen 101 - 104 durchgeführt. Ofen 101 erhielt $1/4$ Kontaktfüllung, Ofen 102

2/4 Kontaktfüllung, Ofen 103 3/4 und Ofen 104 4/4 Kontaktfüllung. Der Kontakt wurde Möglichst gleichmässig in den Lamellen verteilt. Die Gleichmässigkeit der Kontaktlagen wurde durch zahlreiche Lotungen kontrolliert. Eine weitere Kontrolle gibt die Widerstandsmessung. Ofen 101 hatte 62 mm, Ofen 102 = 160 mm, Ofen 103 = 136 mm, Ofen 104 = 170 mm W.S. bei 1000 m³ Gasdurchgang. Die Kontaktfüllungen bestanden aus 2 1/2 Lieferungen, die vorher sorgfältig miteinander gemischt wurden. Die Öfen wurden hinsichtlich Temperatursteigerung und Gasbeaufschlagung möglichst gleichmässig gefahren. Das vorläufige Ergebnis ist aus den vorgelegten Diagrammen ersichtlich. Zusammenfassend ist es kurz folgendes : Mit der niedrigeren Schicht fällt die Kontraktion und die Flüssigproduktenbildung stärker ab. Nach 240 Std. hat der 1/4 - Ofen 38 % Kontraktion und 62g/cm³ Sy-Gas; der 2/4-Ofen 56,5 % Kontraktion und 86g/cm³ Sy-Gas; der ~~Sy-Gas~~ 3/4-Ofen hat 62 % Kontraktion und 110 g/m³ S-Gas; der 4/4-Ofen hat 62 % Kontraktion und 108,5 g/cm³ Sy-Gas. Der 1/4- Ofen ist nach rd. 550 Std. bereits soweit abgefallen, dass er zusätzlich beheizt werden muss. Beim 2/4-Ofen setzt ein stärkerer Abfall bei 400 Std. ein. Die Methanbildung ist mit steigender Schichthöhe grösser. Ebenso ist eine Abnahme des Olefingehalts im Benzin mit steigender Schichthöhe zu beobachten. Es wird angenommen, dass primär ein höheren Olefinanteil gebildet wird, der bei den Versuchen mit der Höheren Kontaktschicht in den weiter unten liegenden Kontaktschichten sekundär durch Hydrieren verringert wird. Die Versuche zeigen das umgekehrte Bild: Bei Verringerung der Verweilzeit durch Erniedrigen der Kontaktschicht wird auch die Kontaktleistung stark verringert. Es wird vermutet, dass die Ursache dieser Verringerung in einer Verbreiterung der Reaktionszone infolge Paraffinversetzung zu suchen ist, wobei die kürzeren Kontaktschichten zur hinreichenden Aufarbeitung des Gases nicht mehr ausreichen. Erhöhung der Gasgeschwindigkeit bei konstanter Kontaktschicht einerseits ist daher nicht gleichbedeutend mit einer Verringerung der Kontaktschicht bei konstanter Gasgeschwindigkeit andererseits.

Gez. Weingaertner

Der Einfluß der Zusammensetzung des reinen Synthesegases (Idealgas = 33,3% CO u. 66,7% H₂) geht aus den bekannten Zusammenstellungen über die Fischer-Synthese hervor (Ges. Abh. z. Kenntnis der Kohle Bd. 11, S. 501). Hiernach wird mit Idealgas die größte Reaktionsgeschwindigkeit und die größte Ausbeute je Kubikmeter Ausgangsgas und damit auch die beste Ausbeute auf Kontaktvolumen und Zeiteinheit berechnet erhalten. Außerdem führt die Idealgaszusammensetzung zu einem recht gutem Umsatz des CO zu flüssigen Produkten.

Mit zunehmendem CO-Gehalt fällt die Reaktionsgeschwindigkeit ab, während der Verflüchtigungsgrad (= derjenige Prozentsatz des verbrauchten ~~CO~~ CO, der sich in flüssige Produkte verwandelt) sowie der Anteil der gebildeten ungesättigten Kohlenwasserstoffe zunehmen. Umgekehrt bewirkt ein höherer H₂-gehalt einen schnelleren Umsatz zu größeren Mengen gasförmiger und gesättigter Kohlenwasserstoffe. Ein gewisser Ausgleich dieser Einflüsse kann durch die Wahl der Reaktionstemperatur derart erreicht werden, daß bei CO-reichen Gasen eine höhere, bei H₂-reichen Gasen eine niedrigere Temperatur gewählt wird.

Versuche in ^{Luft} Ruhlauf mit betriebsmäßig gereinigtes Synthesegas zeigten, daß eine anfängliche Zumischung von CO im Verhältnis 42,6% CO u. 43,0% H₂ bis zur 45. Betriebsstunde und nachfolgendes Weiterfahren des Kontaktes mit dem normalen Synthesegas einen starken Abfall der Kontraktion und der Ölausbeute verursacht:

	Kontraktion:		Ölausbeute:	
	nach 73 Std.	nach 306 Std.	nach 73	n. 306 Std.
Gereinigtes Synthesegas	73%	64%	101 cbm	77 cbm
Gereinigtes Synthesegas mit CO-Zumischung am Anfang	69%	43%	89 cbm	42 cbm

Ein gereinigtes Synthesegas mit H₂-Zusatz im Verhältnis 20,4% CO u. 65,2% H₂ ergab trotz Kontraktionserhöhung eine Verminderung der Ölausbeute:

	Kontraktion:		Ölausbeute:	
	nach 23 Std.	nach 307 Std.	n. 23	n. 307 Std.
Gereinigtes Synthesegas	72%	66%	89 cbm	94 cbm
Gereinigtes Synthesegas u. H ₂	80%	73%	11 cbm	65 cbm

Das Endgas des Versuches mit H₂-reichem Synthesegas enthielt nach der 23. Betriebsstunde rd. 35% CH₄, nach 307 Std. rd. 17% CH₄

Ferner wurde erkannt, daß betriebsmäßig gereinigtes Synthesegas im Vergleich zum Idealgas eine Verkürzung der Lebensdauer des Kontaktes bedingt:

	Anfangskontraktion	Kontraktion nach 262 Betriebsstunden
Idealgas	84%	85%
Gereinigtes Synthesegas mit A-Kohle nachgereinigt	84%	79%
Gereinigtes Synthesegas	76%	64%

(Werte der beiden letzten Gase =bezogen auf Idealgas)

Dieser die Lebensdauer des Kontaktes verkürzende Einfluß wird durch die Verunreinigungen des betriebsmäßig gereinigten Synthesegases verursacht. Zu diesen Verunreinigungen gehören: Inertgase (z.B. N_2 , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 u.s.w.), Sauerstoff, S-Verbindungen, Harze und Harzbildner.

Inertgase:

Die Verdünnung des Idealgases mit Inertgasen setzt die Reaktionsgeschwindigkeit herab, und zwar mit zunehmender Verdünnung in beschleunigtem Maße. Mit Zunahme der Inertgas-Anteile verringert sich also die Ausbeute auf Kontaktvolumen und Zeiteinheit berechnet. In dieser Richtung sollen nicht nur N_2 , CO_2 und CH_4 wirken, sondern auch die bei der Synthese entstehenden Produkte, wie Wasserdampf, C_2H_6 u.s.w. (Ges. Abh. z. Kenntn. d. Kohle Bd. 11, S. 503.)

Nach einer japanischen Arbeit (J. Soc. chem. Ind. Japan 38, 328) soll ein N_2 -Gehalt wie CO -Überschuß wirken, d.h. die Bildung von Olefinen und CO_2 soll begünstigt werden.

Kohlendioxyd soll die Hydrierung des Kohlenoxyds nicht beeinflussen (Br. Ch. 14 (1933), 245), obwohl CO_2 bereits bei der Synthesetemperatur in Abwesenheit von CO mit H_2 am Kontakt reagiert (Br. Ch. 16, 466).

Ausgebrauchte Kontakte ließen einen Gehalt an gebundener CO_2 erkennen deren Menge 6,7-7,8% des vorhandenen Kobalts als Karbonat entsprach.

Sauerstoff:

Geringe Mengen Sauerstoff sollen die Synthese bei der Reaktionstemperatur sehr ungünstig beeinflussen (C. 35, I. 2290.) Versuche in Ruhland zeigten bei getränkten Kontakten folgenden Einfluß:

		Kontraktion nach:		
		23 Std.	144 Std.	213 Std.
Gereinigtes Synthesegas	=	72%	71%	68%
"	" u. 1% Luft =	71%	61%	59%
"	" u. 2% " =	68%	63%	59%

Bis zu 0,6% Luft im Synthesegas ließen keine Schädigungen des Kontaktes beobachten.

Schwefelverbindungen:

Die kontaktschädigende Wirkung der im Synthesegas enthaltenden anorganischen und org. S-Verbindungen beruht auf der großen Reaktionsfähigkeit des Kobalts mit diesen Stoffen.

Es wurde die Forderung erhoben, daß das zur Synthese gelangende Gas nur 0,2 gS/100Ncbm enthalten dürfe. Diese Forderung stützt sich nach Dr. Roelen (Erfahrungsaustauschsitzung am 6.12.37) auf die Feststellung, daß S-Mengen verschiedener Größenordnungen bis zu einem Gehalt von 0,2 g/100 Ncbm im Endgas vom Kontakt aufgenommen werden.

Die Aufnahme von organischen S-Verbindungen durch den Kontakt geht heraus hervor, daß dieser z.B. vom Ofen 7 in den oberen Schichten 1,62% und in der unteren Schicht 0,25% enthielt.

Die schädlichsten S-Verbindungen scheinen Thiophene und andere kernsubstituierte S-Verbindungen zu sein, dann folgen offenbar Merkaptane und endlich CS₂ u. COS. Dies dürfte damit zusammenhängen, daß kettenförmige S-Verbindungen bereits von den obersten Kontaktschichten festgehalten werden, während ringförmige tiefer eindringen.

Mit Thiophen (nachfolgend in g S/100 cbm angegeben) beladenes Synthesegas führte im Vergleich zum normalen Synthesegas zu folgenden Kontraktionen:

	nach	Kontraktion:				
		98 Std.	120 Std.	146 Std.	169 Std.	174 Std.
Synthesegas		70	65	63	62	61
Thiophenhalt. Syn-Gas mit 0,02gS	49					
" " " 0,008 gS		44				
" " " 0,008 gS				21		
" " " 0,008 gS					7	
" " " 0,006 gS						0

Die Ölbildung setzte bereits nach 150 Stunden aus.

Bei Gegenwart vom Benzoldämpfen wird die schädigende Wirkung der S-Verbindungen, offenbar durch deren tieferes Eindringen in die Kontaktschichten, erhöht. Z.B. führte eine 0,07 g S entsprechende Thiophenmenge im Beisein von Benzol in der gleichen Zeit zu einem Kontraktionsabfall auf 0 wie eine 0,125 g S entsprechende Thiophenmenge ohne Benzolzusatz. Nach Versuchen der Ruhrbenzin ergab thiophenfreies Benzol in 2000 Betriebsstunden keine Kontaktschädigung.

Synthesegas mit A-Kohle-Kondensat aus Kopperspülgas, das 46% Olefine, 42% Aromaten und 3,1 % S enthielt, führte zu einem Kontraktionsabfall von 70%, auf 3% nach 5 Stunden und auf 0 nach 5 Stunden.

Ausgehend von der Erkenntnis, dass die im Synthesegas enthaltenen dampfflüchtigen organ. S-Verbindungen vorwiegend paraffinischer, naphthenischer und aromatischer Natur sein dürften, wurden folgende beiden Wege zur Identifizierung dieser Stoffe beschritten:

- 1.) Fraktioniertes Herauslösen der einzelnen Stoffgruppengemische mit selektiven Lösungsmitteln aus dem Synthesegas. Hierbei ergab sich bisher, dass sich der S-Gehalt des gereinigten Synthesegases von rd. 0,3 g/100 m³ zu je 1/3 auf aromatische u. cykloolefinische, naphthenische und paraffinische Verbindungen zu verteilen scheint.
- 2.) Zerlegung von A-Kohle-Kondensaten aus dem Gas vor und nach der Feinreinigung durch kalte Fraktionierung mittels selektiver Lösungsmittel. Diese clivenöl- bis portweinfarbigem, stark benzolhaltigen Kondensate sieden zwischen 75-240°. Ihr Gehalt an Olefinen beträgt etwa 46 % und an Schwefel 0,005 %.

Harze und Harzbildner:

Das Synthesegas enthält einerseits fertig vorgebildete harzartige Stoffe und andererseits gewisse ungesättigte, der Acetylen- und Äthylenreihe angehörige Verbindungen, die sich am Kontakt zu harzähnlichen Stoffen umsetzen können (Harzbildner). Sie konnten sowohl im Gas als auch im ausgebrauchten Kontakt nachgewiesen werden.

Ausserdem wurde aus dem Gas eine teilweise kristallinische gelbliche Masse isoliert, in der Naphtalin, Acenaphthen, Diphenyl- und Benzol nachgewiesen werden konnte. Ob diese Stoffe primäre Vergasungsprodukte der Braunkohle sind oder erst nachträglich entstehen, lässt sich z.Zt. noch nicht entscheiden. Durch Versuche mit Synthesegas, das mit Naphtalin (Ruhland) und mit thiophenfreiem Benzol (Ruhrbenzin) beladen war, konnte festgestellt werden, dass diese Stoffe keine Kontaktschädigung bewirken.

Zur Klärung des Einflusses am Kontakt entstehender harzartiger Stoffe auf die Lebensdauer des Kontaktes wurden Versuche mit

Synthesegas in Angriff genommen, dem Acetylen, Äthylen, Butadien und Cyklopentadien sowohl ohne als auch mit H_2S -Zusammensetzungen, zugesetzt waren. Bis jetzt zeigte sich, dass eine 1%-ige Acetylenzusammensetzung nach 200 Stunden keinen Kontraktionsabfall verursacht. Dagegen tritt bei 5%-igem Acetylenzusatz nach 80 Stunden eine Kontraktionsverminderung von 74 auf 71% und 10%iger Acetylenzusammensetzung nach weiteren 25 Stunden ein Abfall von 71 auf 62% ein.

Zur Aufklärung der chemischen Natur der im Gas fertig vorgebildeten harzartigen Stoffe sollen die unter "Schwefelverbindungen" erwähnten, mit A-Kohle ~~extrahierten~~ gewonnenen Kondensate, sowie die aus der ausgedämpften A-Kohle extrahierten Produkte dienen.

Bei der Prüfung der Kontakte im Laboratorium wurde mehrfach beobachtet, dass bei Schwankungen der Prüftemperatur und bei unregelmässigen Gasbelastungen durch die damit offenbar im Zusammenhang stehende erhöhte Paraffinbildung ein erheblicher Kontraktionsabfall eintritt. Der Kontakt wird in diesen Fällen innerhalb kurzer Zeit mit Paraffin verschmiert und ist dann selbst auch in warmem Zustande nur schwer aus dem Rohr zu entfernen.

Gez. Prof. Dr. Steinbrecher

Betr. Versuche der Gesellschaft für Gasentgiftung im
hiesigen Laboratorium.

Zu der Beurteilung der Versuche im Schreiben der "Gesent" vom
4.11.37, ist folgendes zu bemerken:

Bei der ersten Versuchsreihe, bei der Ruhrchemie-Rheinpreußenkon-
takt in Vergleich gesetzt wurde zu 4 Kontakten der "Gesent", mag
im Gesamtergebnis die Wirkung des ersteren etwas ungünstiger er-
schienen sein als die der Gesentkontakte. Die Resultate, die mit
dem Rheinpreußenkontakt erzielt wurden, liegen jedoch auch ungünsti-
ger, als sie normalerweise aufgrund der zahlreichen Beobachtungen
im Betrieb und im Laboratorium während der bisherigen Versuchs-
zeit von über einem Jahr, vorausszusehen waren. Dieses anormale
ungünstige Verhalten der Rheinpreußenkontakte, speziell in den vor-
liegenden Vergleichsversuchen, erklärt sich unseres Erachtens da-
durch, daß die Temperaturen für den Rheinpreußenkontakt im Ver-
einstimmung gewählt wurden mit den Temperaturen, die für die Gesent-
kontakte am günstigsten erschienen. Dadurch wurden die Versuche
bei 300°, bzw. 290° von vornherein durchgeführt, bei einer Tem-
peratur, die wesentlich höher liegt, als es sonst normalerweise
beim Rheinpreußenkontakt zu Beginn der Inbetriebnahme üblich ist.
Der Rheinpreußenkontakt arbeitet erfahrungsgemäß in frischem Zu-
stand bereits bei 200° den Schwefel auf, und erst mit zunehmender
Schwefelbeladung und entsprechender Alterung wird die Betriebstem-
peratur gesteigert, bis bei etwa 10% Schwefelbeladung die Maxi-
maltemperatur von 300° im Kontakt erreicht wird. Der starke Anstieg
des Widerstandes in der ersten Versuchsreihe beim Rheinpreußenkon-
takt deutete darauf hin, daß infolge zu hoch gewählter Betriebs-
temperatur eine anormale Reaktion eingetreten war. Beim Öffnen des
Reaktionsgefäßes zeigte die starke Kohlenstoffabscheidung, daß tatsächlich
bei diesem Kontakt ein durch das Eisen katalysierter CO-Erfall
eingetreten war. Es ergibt sich also, daß das Temperaturniveau, be-
dem der Rheinpreußenkontakt zu arbeiten beginnt, niedriger liegt,
als das der Gesentkontakte, ein Vorteil, der unseres Erachtens
nicht zu unterschätzen ist. Falls man dieser größeren Reaktions-
fähigkeit des Kontaktes Rechnung trägt und ihn entsprechend vor-
sichtig in Betrieb nimmt, so sind bei den Rheinpreußenkontakten,
zumindest im Labor-Versuch nach allen unseren bisherigen Erfahrungen,
die Entschwefelungseffekte mindestens ebenso gut wie bei den Gesent-
kontakten.

Bei der niedrigen Beladungshöhe, bis zu der die Versuche überhaupt betrieben sind, sind Durchbruchspitzen selbst bei schwankenden Schwefelwerten, auch im Großbetrieb nicht beobachtet worden, solche Spitzen treten vielmehr nach unseren Erfahrungen bei Beladungshöhen, von ca. 3 l an, auf. Wie sich bei solchen Beladungshöhen die Gesentkontakte gegenüber schwankenden Schwefelgehalten verhalten, ist aus den Versuchen, bei der kurzen Laufzeit der Versuche und den entsprechend niedrigen Beladungshöhen, nicht zu entnehmen.

Das Obengesagte gilt in gleicher Weise für die im Aluminium-Blockofen durchgeführte Versuchsreihe. Auch hier trat bei mit Rücksicht auf die Gesentkontakte von vornherein gewählte Ofentemperatur von 300°, frühzeitig am Rheinpreußenkontakt ein CO-Zerfall ein, der den Gasweg in der Masse vollständig verlegte, sodaß ein Vergleich mit den Gesentkontakten auch hier nicht möglich ist. Vergleicht man jedoch das Ergebnis der 2 Gesentkontakte untereinander und mit den Betriebsverhältnissen, wie wir sie in der Großanlage beobachten, so ergibt sich folgendes:

Bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit und entsprechender Aufenthaltsdauer von etwa 7 sek., werden selbst im Großbetrieb nachweislich über die ganze Betriebsperiode einer Füllung nur Schwefelwasserstoffwerte von maximal 0,02 % erreicht, wie sie mit den beiden Gesentkontakten auch im Laborversuchen auftraten. Bei durchschnittlich 2 cbm Gasdurchsatz durch je einen Kontakt von etwa 120 g Gewicht, beträgt bei den Anfangsschwefelgehalten von 15 g/100 cbm, die Schwefelaufnahme in der Masse 1 %. Bei dieser niedrigen Schwefelbeladung sind selbst im Großbetrieb die durchbrechenden organischen Schwefelmengen nicht höher als 0,2 - 0,25 g/100 cbm, jedoch mit dem Unterschied, daß dieser Effekt bei Temperaturen von 200 - 220° erreicht wird, gegenüber der beim Gesentkontakt offenbar erforderlichen Temperatur von 300°.

Zu dem im Turm I mit Gesentkontakt 2 betriebenen Versuch mit nachgeschalteter Aktiv-Kohle, ist noch zu bemerken, daß nach Durchfluß von 91,9 cbm der Turm vorsichtig entleert wurde. Die Gesamtfüllmenge von etwa 600 g wurde mit rund 13,5 % Schwefel beladen = 2,2 % Schwefelbeladung. Auch hier liegt die erreichte Beladung außerordentlich hoch und der Durchbruchswert am Ende des Versuchs mit 0,39 % so hoch. Beim vorsichtigen Entleeren zeigte sich, daß die unteren Teile geschwärzt, im oberen Teil noch von der braunen Farbe war.

Es fiel auf, daß trotz der vorsichtigen Behandlung reichlich Staub in der Masse gebildet war. Die Festigkeit der Kugeln in der untersten Schicht, die für sich allein gewonnen wurde, war sehr stark vermindert, bei geringstem Druck zerfielen diese Kugeln zu Staub, im Gegensatz zu den frischen Kugeln.

Wir halten es nach diesen Beobachtungen für ausgeschlossen, daß ein Abziehen der unteren verbrauchten Masse während des Betriebes überhaupt möglich ist.

Die Analyse der aus der untersten Schicht ausgebauten Kugeln ergab einen mittleren Schwefel-Gehalt von 1,4 % S. Da in der untersten Zone die Absättigung des Schwefels zuerst eintreten muß, ist aus dem Wert zu schließen, daß die Aufnahmefähigkeit der Gesamtmasse geringer ist, als die unserer jetzigen Feinreinigungsmasse.

Unter Berücksichtigung des hohen Preises, den der Gesenktkontakt kostet und der nach Angabe von Dr. Schmaister nicht unter ca. 400.— pro Tonne gesenkt werden kann, liegen die bisherigen Versuchsergebnisse so ungünstig, daß nach meiner Ansicht eine Fortsetzung der Versuchsarbeit für Rhein-Preußen nicht mehr interessant ist, und besonders der Bau einer Versuchsanlage zur Reinigung einer größeren Ausmenge nicht mehr zu vertreten ist.

Labor, den 8. November 1937

10397