

2944-30/5.05-46

Treibstoffwerk, den 19. Juni 1942.

10-17

CARBON AND

Dr. Dr./Kr.

Altenvermerk

# HYDROGEN BALANCES

beur. Auswertung der Bilanzanalysen bei den Öfen 2. Stufe.

Bei der Auswertung von exakten Analysen einzelner Öfen der 2. Stufe wurde die Beobachtung gemacht (vgl. Ofen 16 vom 5.6.1942

13	"	16.6.	"
91	"	18.6.	"
50	"	3.6.	"

), daß neuangefahrene Öfen keine Deckung der Bilanz nach Kohlenstoff- und Wassergehalt im Eingangs- und Ausgangsgas ergeben.

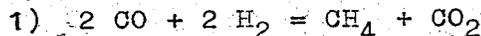
Dagegen zeigen alte Öfen, die auf der 2. Stufe gefahren werden, gute Übereinstimmung in ihrer C- und H<sub>2</sub>-Bilanz (vgl. Ofen 93 v. 18.6.). Auch die Auswertung der gesamten 2. Stufe ergibt weitgehende Übereinstimmung der beiden Bilanzen.

Es wurde versucht, die auffällige Diskrepanz bei den jungen Öfen durch Nebenreaktionen zu erklären. Da im allgemeinen bei Auftreten dieser Diskrepanz die Wasserstoffbilanz auf höhere Ausbeuten deutet als die Kohlenstoffauswertung, liegt die Vermutung nahe, daß Wasserstoffverbrauchende Nebenreaktionen die Benzinbildung begleiten.

Als solche könnte die nachträgliche Hydrierung von aus der 1. Stufe eingebrachten ungesättigten Kohlenwasserstoffen in Frage kommen. Eine Überschlagsrechnung zeigt aber, daß selbst bei vollständiger Hydrierung und bei Annahme eines Benzin+Gasol-Gehaltes von 120 g/cbm Synthesegas II mit einem Olefingehalt von 50% noch nicht die Wasserstoffmenge verbraucht wird, die zur Erklärung der Bilanzdifferenzen nötig wären.

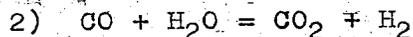
Auffällig ist es, daß bei den jungen Öfen häufig die Bildung an CO<sub>2</sub> größer als von CH<sub>4</sub> ist.

Die für die <sup>CO<sub>2</sub>-Bildung bei den</sup> Bilanzierung normalerweise angenommene Reaktion



kann also bei den jungen Öfen nicht allein vorliegen.

Weitere Reaktionen, die eine zusätzliche Kohlensäurebildung bedingen, sind



Bei Einführung jeder dieser Reaktionen in die Auswertung der C-Bilanz werden zwar stark voneinander abweichende Ausbeuten an nutzbaren Kohlenwasserstoffen errechnet, die jedoch in keinem Falle bisher mit der zugehörigen auf Grund der Wasserstoffbilanz errechneten Ausbeute übereinstimmt.

Beispielsweise ergibt die Auswertung von Ofen 13 bei der normalen Berechnungsweise

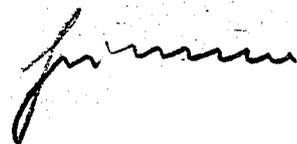
	C-Bilanz	H <sub>2</sub> -Bilanz	
normale Berechnungsweise	51,7	61,1 g Flüssigprodukte+Gasol/cbm Sy. II	
bei Annahme der Reaktion 2)	42,7	56,7	
bei Annahme der Reaktion 3)	48,8	59,6	

Die Unterschiede zwischen der Auswertung der C- und H<sub>2</sub>-Bilanz nach der normalen Berechnungsmethode sind bei den bisher untersuchten Einzelöfen jungen Alters folgende

Ofen-Nr	C-Bilanz	H <sub>2</sub> -Bilanz	CO:H <sub>2</sub> -Verhältnis	des Eintrittsgases
16	59,9	57,9	1,89	
13	51,7	61,6	1,84	
91	56,5	60,3	1,78	
50	48,2	62,3	1,73	

Es ergeben sich daraus Andeutungen, daß die Differenzen mit fallendem CO:H<sub>2</sub>-Verhältnis besonders ausgeprägt auftreten.

Es soll versucht werden, die verstärkte CO<sub>2</sub>-Bildung durch besonders vorsichtige Fahrweise bezüglich Temperatursteigerung und Belastung während der ersten Betriebsperiode zu unterdrücken, in der Annahme, daß damit Nebenreaktionen vermieden werden, die die Laufzeit des Ofens von vorneherein ungünstig beeinflussen.



Vortrag v. H. Br. Brinnow  
1941/42

## Über die Kohlenoxyd- und Wasserstoffbilanz als Hilfsmittel der Synthesenkontrolle.

Zur Kontrolle der Betriebsverhältnisse werden heute wohl auf allen Syntheseanlagen Kohlenstoffbilanzen herangezogen. Hauptsächlich die Erabag hat sich frühzeitig solchen Berechnungen zugewandt, und wir verdanken den Arbeiten auf Schwarzheide den zuverlässigen Nachweis, daß die in die Synthese eingesetzten Kohlenstoffmengen und die als Reaktionsprodukte einschließlich Restgas ausgebrachten Kohlenstoffmengen miteinander übereinstimmen. Das erscheint als eine Selbstverständlichkeit, deren Bestätigung trotzdem einigen Werken bis heute Mühe macht. Ungenauigkeiten in der Erfassung der Reaktionsprodukte und der Gas-mengen können allein die Gründe für solche Fehlbilanzen sein.

Nachdem aber von Schwarzheide das positive Ergebnis vorliegt, daß das Kohlenstoffgewicht in den ausgebrachten flüssigen, festen und gasförmigen Reaktionsprodukten mit dem Gewicht des umsetzbaren Kohlenstoffs im Synthesegas übereinstimmt, ist heute der einfachere Weg erlaubt, statt durch Messung, nur durch Rechnung aus der Abnahme des umsetzbaren Kohlenstoffs die Ausbeute an Reaktionsprodukten zu ermitteln. Als Umsetzbarer Kohlenstoff wird nur der Kohlenstoff des Kohlenoxyds und der <sup>Kohlenstoff</sup> etwa eingesetzter ungesättigter Kohlenwasserstoffe angenommen, während der <sup>Kohlenstoff</sup> Kohlenstoff im  $\text{CH}_4$  und in höheren gesättigten Kohlenwasserstoffen sowie im  $\text{CO}_2$  als nicht umsetzbar gilt.

Unter dieser heute nicht mehr zweifelhaften Voraussetzung lassen sich allein mittels exakter Gasanalysen zusammengehöriger Synthese- und Restgasproben eingehende Aussagen über spezifische Ausbeuten an gasförmigen und flüssigen Syntheseprodukten und über den Reaktionsverlauf in der Synthese machen. Dadurch läßt sich die Kontrolle von Einzelöfen von jeder Synthesestufe für sich allein und von der Gesamtanlage auf einfachste Weise ausführen.

Die Zuverlässigkeit der dabei ermittelten Daten ist nur abhängig von der Probenahme der Gase und von der richtigen und möglichst weitgehend aufgeteilten Bestimmung der Einzelbestandteile der Gase in der Gasanalyse.

Bei der von uns gewählten Verfahrenstechnik werden in allen vorher erörterten Fällen die Analysen aus dem Gas im gewählten Zustand vor der Messungskontrolle gemacht. Bei der Kontrolle von Gasflüssen ist dies ja die einzige Möglichkeit, aber auch bei der Kontrolle von Gasen syntheseestufen stehen wir die Probenahme des Endgases <sup>des</sup> des Gases vor. Die Dauer der Probenahme wird zwecks möglicher Gleichzeitigkeit der beiden parallel laufenden Proben nicht zu lange gewählt und beschränkt sich auf Probeweiten von 6-8 Stunden. Sollen längere Zeiträume kontrolliert werden, empfiehlt sich Unterteilung in Einzelproben und nachträgliches Mischen zu einer Gesamtprobe.

Das erforderliche Volumen der Gasproben ist abhängig von der Art der gewählten Analysemethode. Ich möchte auf die Einzelheiten unseres Analysewegs, der nach dem Prinzip der Bodmilchmethode durch fraktionierte Destillation unter starkem Rückfluß des kondensierten Gases durchgeführt wird, nicht eingehen. Wir benötigen für jede Feinanalyse ca. 100 ltr. Gas, in denen Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenoxyd, Methan, Stickstoff, Äthylen und Äthan und eventuell Propylen, Propan, Butylen und Buten bestimmt werden. Der Gehalt an Benzol, Kohlenwasserstoffen in den Endgasproben wird nicht ermittelt. Kohlenoxyd, Wasserstoff und Stickstoff bleiben in der Hauptsache im kondensierten Gasrest.

Für die Zwecke einer Bilanzrechnung ist es aber unbedingt nötig, die im Kondensat gelösten Anteile dieser Gasbestandteile mitzufassen.

Die Fehlerabweichungen für die in größeren Konzentrationen vorhandenen Bestandteile lassen sich, wie Kontrollmaßnahmen zeigten, in Grenzen von ca. 0,2 Vol.-% halten.

Für die in kleineren Konzentrationen vorkommenden Bestandteile, wie Methan, Äthan, Propan und Butan, muß die Fehlerabweichung entsprechend geringer liegen.

An Hand solcher Analysen von parallel entnommenen Gasproben läßt sich folgende Rechnung durchführen:

Aus dem  $H_2$ -Gehalt ergibt sich zunächst die Kontraktion bzw. die Endgasmenge, die je Volumeneinheit des Synthesegases nach der Reaktion übrig bleibt.

Aus den zusammengehörigen Synthese- und Endgas Mengen und den  $CO_2$ -<sup>Umsatz</sup>arten beider Proben errechnet sich der Gesamt-Kohlenoxyd-

Ferner läßt sich die Kohlensäure-, Methan- und Äthanbildung je Volumeneinheit Synthesegas errechnen. Die Äthylmenge, die nach unseren Beobachtungen stets nur wenige Prozente der Äthanbildung ausmacht, wird dabei in die Äthan-Berechnung eingesogen.

Das Kohlenstoffgewicht, das in den gebildeten Volumina Methan, Kohlensäure und Äthan enthalten ist, wird errechnet und auf entsprechendes Kohlenoxydvolumen umgerechnet.

Nach Abzug dieser für die Methan-, Kohlensäure- und Äthanbildung verbrauchten Kohlenoxydmengen von dem insgesamt umgesetzten Kohlenoxydvolumen entspricht der Rest dem CO-Volumen, das für höhere Kohlenwasserstoffe von C<sub>2</sub> an aufwärts verbraucht wurde.

Durch Multiplikation mit dem seit langem eingeführten Faktor 0,634 erhält man aus diesem Kohlenoxydvolumen die gebildete Gewichtsmenge an höheren Kohlenwasserstoffen einschließlich Gas. Schwankungen im mittleren Molekulargewicht der gebildeten Kohlenwasserstoffe und im Olefingehalt beeinflussen kaum die Größe des genannten Faktors.

Die Richtigkeit dieses Faktors ergibt sich auch aus der guten Übereinstimmung, die die Ausbeuteberechnung mit den tatsächlich Ausbeutemessungen des Betriebes in wiederholten Kontrollversuchen lieferte.

Die Zuverlässigkeit der rechnerischen Ausbeutebestimmung läßt sich aber noch weiter steigern, wenn aus den Analysen neben dieser CO-Bilanz in gleicher Weise eine Wasserstoffbilanz abgeleitet wird.

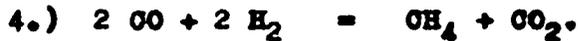
Der Wasserstoff wird bei der Bildung von Methan, Äthan und höheren Kohlenwasserstoffen in stark wechselndem Verhältnis zum gleichzeitig umgesetzten Kohlenoxyd verbraucht. Ferner ist die gleichzeitige Bildung von Wasserstoff durch die Konvertierungsreaktion zu berücksichtigen, deren Eintritt durch Bildung von Kohlensäure zu erkennen ist.

Diese Umstände setzen mehr noch als bei der Kohlenoxydbildung die gute Zuverlässigkeit der Gasanalysen voraus, wenn die H<sub>2</sub>-Bilanz zu brauchbaren Schlüssen führen soll. Im einzelnen kann Wasserstoff, abgesehen von der Synthese-Reaktion, an folgenden Nebenreaktionen teilnehmen:





Methan-Bildung nach 1.) und Konvertierung nach 3.) können zusammengefaßt werden zur Reaktion.



Aus diesen Gleichungen läßt sich an Hand der gebildeten Methan-, Äthan- und  $\text{CO}_2$ -Mengen der Wasserstoffverbrauch für Nebenreaktionen errechnen und vom Gesamtwasserstoffverbrauch abziehen, um als Rest den Verbrauch zu ermitteln, der zur Bildung höherer Kohlenwasserstoffe benötigt worden ist.

Um aus diesen zu höheren Kohlenwasserstoffen und dem äquivalenten Wasser umgesetzten Wasserstoffvolumen die entsprechende Gewichtsmenge der gebildeten Kohlenwasserstoffe einschließlich Gasol zu errechnen, benutzen wir den Faktor von 0,302 gr Nutzprodukte je Normalliter umgesetzten Wasserstoffs.

Dieser Faktor gilt für unsere Verhältnisse, bei denen das mittlere Molekulargewicht der nutzbaren Syntheseprodukte von  $\text{C}_3$

bis zum Hartparaffin ca.  $\text{C}_9$  entspricht und bei dem der mittlere Olefingehalt ca. 24% beträgt.

Für andere Syntheseverhältnisse sind die Änderungen des vorgenannten Faktors unerheblich.

Die seit mehreren Monaten durchgeführten Ausbeutemessungen aus Kohlenoxyd und Wasserstoffverbrauch ergeben ausgezeichnete Übereinstimmungen der erhaltenen Ausbeuten untereinander.

Die Abweichungen in der Berechnung der spezifischen Ausbeuten überschreiten im allgemeinen den Wert von 1 gr Nutzprodukte je cbm Synthesegas nicht.

Für die zuverlässige Berechnung der nutzbaren Primärprodukte insgesamt aus Kohlenoxyd oder  $\text{H}_2$ -Verbrauch ist in den exakten Analysen nur die Ermittlung von  $\text{CH}_4$  und  $\text{C}_2\text{H}_6$  vom Gesamtgemisch der Kohlenwasserstoffe erforderlich.

Bei Erfassung weiterer einzelner Kohlenwasserstoffe wird die Möglichkeit zu weiteren Aussagen entsprechend gesteigert.

Die zusätzliche Bestimmung der  $\text{C}_3$  und  $\text{C}_4$ -Kohlenwasserstoffe ist ohne große Mühe und Zeitaufwand möglich.

Daraus ergibt sich dann der Gewichtsgehalt an Gasol im Endgas bzw. bei Berücksichtigung der Kontraktion die Ausbeute an Gasol je Volumeneinheit des eingesetzten Synthesegases.

Der Abzug dieser Gasolmenge von der durch CO oder Wasserstoffbilanz-Berechnung ermittelten Gesamtausbeute an nutzbaren Primärprodukten führt zur Ausbeute an flüssigen Kohlenwasserstoffen

(einschließlich Paraffin) allein. Die doppelte Kontrolle <sup>des</sup> aus der getrennten CO- und Wasserstoffbilanz errechenbaren Reaktionsverlaufs macht die aus solcher Berechnung ableitbaren Schlüsse erheblich zuverlässiger. Auf einige mittels zahlreicher Einzelanalysen gewonnener Erfahrungen möchte ich im Folgenden noch kurz eingehen.

In Fällen, wo die aus den Stickstoffbestimmungen ermittelten Kontraktionen nicht mit der Kontraktion aus der Gasberechnung übereinstimmen, läßt sich durch Anwendung der H<sub>2</sub>-CO-Bilanzrechnung entscheiden, welche Kontraktionsart die richtigere ist, da nur bei richtig zu Grunde gelegter Kontraktion eine Übereinstimmung der beiden Ausbeuterechnungen aus CO und H<sub>2</sub> erreicht wird.

Die guten Resultate der Wasserstoffbilanzrechnung beweisen, daß nur der elementare Wasserstoff, dagegen keine eingebrachten Wasserstoffverbindungen des Synthesegases, insbesondere auch nicht der Wasserdampfgehalt an den Reaktionen in den Kontaktöfen teilnehmen. Diese Feststellung gilt zumindest für die bei uns herrschenden Wasserdampfkonzentrationen von 25-40 gr im Synthesegas I bzw. von 40-50 gr im Synthesegas II.

Für die bei uns unswahrscheinlich auftretende CO-Konvertierung, die sich durch die regelmäßige SO<sub>2</sub>-Bildung zu erkennen gibt, muß also das bei der Reaktion gebildete Wasser in erster Linie verantwortlich sein.

Da der Wasserstoffverbrauch zum CO-Verbrauch bei der Bildung der Benzin-Kohlenwasserstoffe im Verhältnis von ca. 2,1:1 steht, führt das zu der bekannten Verschiebung des CO:H<sub>2</sub>-Verhältnisses im Endgas gegenüber dem Synthesegas. Allerdings wird der Abfall des Verhältnisses weiterhin beeinflusst durch die Nebenreaktionen der Synthese, von denen die CO-Konvertierung und Wasserstoffbildung bedingt und damit den beschleunigten Wasserstoffabfall aufhält.

Bei unserem Betrieb, bei dem in I. und II. Stufe zusammen ca. 18% des eingesetzten Kohlenoxyds in gasförmige Produkte ohne Gasel, und zwar 5% in CO<sub>2</sub>, ca. 11% in CH<sub>4</sub> und ca. 2% in C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> umgewandelt werden, tritt ein Abfall des CO:H<sub>2</sub>-Verhältnisses von 1,98 im Synthesegas, von 1,3 - 1,4 im Endgas ein.

Dieser starke Abfall wird bei der Berechnung des Wasserstoffs, der zur Bildung der gefundenen einzelnen Reaktionsproduktmengen erforderlich ist, durchaus bestätigt.

Falls bei normalen CO:H<sub>2</sub>-Verhältnis im Synthesegas der Abfall bis

zum Endgas II weniger stark auftritt, so darf von vornherein in solchen Fällen darauf geschlossen werden, daß die Kohlenäurebildung und damit vielleicht auch sonstige Nebenreaktionen eine größere Rolle spielen müssen als bei uns.

Durch Anwendung der Kohlenoxyd- und Wasserstoffbilanzrechnung auf gleichzeitig entnommene Gasproben von Synthesegas I. Stufe, Endgas I. Stufe und Endgas II. Stufe lassen sich die Reaktionsverhältnisse für jede Stufe getrennt in ihren Einzelheiten anschaulich verfolgen.

Auch in diesem Falle kann man auf eine zusätzliche Gasmengemessung bei der Berechnung verzichten.

Da bei unserer Schaltweise beider Stufen ohne Zwischenabcheidung des Benzins eine unmittelbare Produktionsmessung für jede Stufe nicht möglich ist, wird erst durch die Bilanzberechnung für uns eine genaue Kontrolle der einzelnen Stufen möglich. Durch zahlreiche Vergleichsmessungen kommt dabei für unsere Anlage klar zum Ausdruck, daß der Gesamtumsatz vergleichsweise in der 2. Stufe ebenso hoch wie in der 1. Stufe ist.

Allerdings tritt eine gewisse Verschiebung zwischen dem Umsatz zu Nutzprodukten und zu gasförmigen Nebenprodukten ein, und zwar beobachten wir eine etwas stärkere Bildung gasförmiger Produkte in der II. Stufe.

Bei einer Ausbeute nutzbarer Primär-Produkte (einschließlich Gasöl) in der I. Stufe in Höhe von ca. 130 gr. je cbm Idealgas erreicht die Ausbeute in der II. Stufe im Mittel ca. 122 gr. je cbm Idealgas.

Dabei fällt das  $\text{CO}:\text{H}_2$ -Verhältnis in der I. Stufe von rund 2 auf 1,8 und in der II. Stufe von 1,8 auf 1,3.

Wahrscheinlich ist die etwas schlechtere Verflüssigung durch das ungünstige  $\text{CO}:\text{H}_2$ -Verhältnis im Synthesegas II gegenüber dem Synthesegas I bedingt. Daß nämlich auch die Ausbeute in der II. Stufe vom  $\text{CO}:\text{H}_2$ -Verhältnis beeinflusst wird, zeigt der Vergleich aller solcher Bilanzmessungen, bei denen Unterschiede in der Zusammensetzung des Gases der II. Stufe herrschten.

Eine Zusammenstellung solcher gasanalytischen Auswertungen zeigt, daß bei einem  $\text{CO}:\text{H}_2$ -Verhältnis

	1 : 1,6	ca. 105 gr	je cbm	Nutzgas,
bei	1 : 1,7	" 110 "	" "	" "
"	1 : 1,8	" 120 "	" "	" "
"	1 : 1,9	Ein Maximalwert	von 130 gr	je cbm Nutzgas,

bei 1 : 2,05 schon wieder ein Abfall von 120 gr je cbm Nutgas eintritt.

Ich erwähne diese Beobachtungen im Rahmen meines Referates nur, um zu zeigen, bis zu welchen Aussagen die auf Gasanalysen aufgebaute Bilanzrechnung und befähigt.

Da die Richtigkeit solcher Aussagen nur von der Zuverlässigkeit der Probenahmen und von der Genauigkeit der Gasanalyse abhängt, und beide Forderungen heute keine Probleme mehr sind, sind die Fehlermöglichkeiten in solcher Art der Ausbeutemessung nicht größer als auf dem üblichen Wege, bei den Gasmengenmessungen und Messungen des Produktenanfalles notwendig sind.

Während die Auswirkung irgendeiner Maßnahme auf die Synthese auf andere Weise nur mit viel Umstand, beispielsweise durch die Gesamtproduktionsmessung oder mittels Versuchsaktivkohleanlage, und vor allem nur über größere Zeiträume möglich ist, sehen wir in der kombinierten  $\text{CO} + \text{H}_2$ -Bilanzrechnung ein geeignetes Hilfsmittel, um fast momentan über Zustand und Verlauf der Synthese Aussagen machen zu können.

Rechenbeispiel für H<sub>2</sub>-Bilanz.

gefunden durch exakte Gasanalyse.

	Synthesegas	Gas II
CO <sub>2</sub>	7,6	30,2
CO	20,0	11,09
H <sub>2</sub>	55,5	13,30
CH <sub>4</sub>	1,0	12,82
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> +3H <sub>2</sub>	0,0	0,18
H <sub>2</sub>	7,58	25,70

Kontraktion 70,5 aus H<sub>2</sub> Feinbestimmung.

Aus CO berechnet:

Gen.CO-Umsatz 88,2 %

CO in CO<sub>2</sub> 4,6% des einges. CO, 5,3% des unges. CO

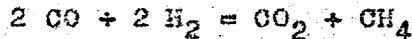
CO in CH<sub>4</sub> 9,9% " " " 11,3% " " "

CO in C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 2,0% " " " 2,3% " " "

1.) Berechnung des H<sub>2</sub>-Bedarfs zur Bildung der gasförmigen Produkte: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

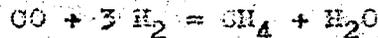
4,6% CO-Umsatz zu CO<sub>2</sub> entspricht 12,9 ltr. CO/m<sup>3</sup> Sy-Gas.

Nach der Gleichung



ist die dem CO<sub>2</sub> entsprechende doppelte Menge H<sub>2</sub>, also 25,8 ltr. H<sub>2</sub> für diese Teilreaktion verbraucht.

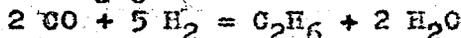
Das restliche CH<sub>4</sub> ist nach der Reaktion



gebildet, sodass 27,7 - 12,9 = 14,8 ltr. CH<sub>4</sub> die dreifache Menge H<sub>2</sub>, also 44,4 ltr. H<sub>2</sub> verbraucht haben.

Insgesamt sind also für die CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Bildung 25,8 + 44,4 = 70,2 ltr. H<sub>2</sub> verbraucht worden.

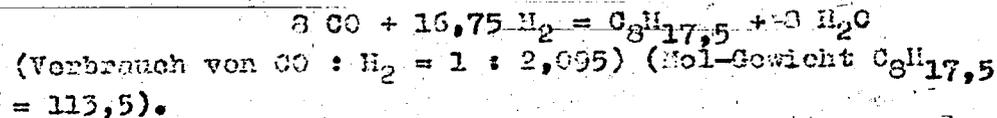
Für C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> sind nach der Gleichung



14 ltr. H<sub>2</sub> verbraucht worden.

Gesamteinsetz an H <sub>2</sub>	555,0 l/m <sup>3</sup> Sy-Gas I
Nicht umgesetzt 13,5 x 295 =	<u>39,2</u> "
Gesamt H <sub>2</sub> -Umsatz	515,8 "
davon zu CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	<u>84,2</u> "
Umsatz zu Flüssigprodukt + Gasol + Paraffin	431,6 "

Bei Annahme eines mittleren Mol-Gewichtes der Nutzprodukte von 113 (=C<sub>8</sub>) und einem mittleren Olofin Gehalt von 25% verläuft die Reaktion nach der Gleichung



Daraus ergibt sich, dass für 113,5 g Nutzprodukte 376 ltr. H<sub>2</sub> benötigt werden.

$$1 \text{ ltr. H}_2 \text{ entspricht } 0,302 \text{ g Nutzprodukte.}$$

$$431,6 \times 0,302 \text{ g} = 130,3 \text{ g Nutzprodukte.}$$

Berechnung des Verhältnisses von CO : H<sub>2</sub> im Endgas.

Bei der Annahme des vorstehenden Beispiels (bei der 88,2% Gesamt-CO-Umsatz und 16,5% CO-Umsatz zu CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gemessen war) ergibt sich folgender Einsatz in Synthesegas:

	<u>280 l CO/m<sup>3</sup></u>	<u>555 l H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup></u>
1.) <u>Für Nutzprodukte</u> verbraucht		
88,2 - 16,5 = 71,7% des CO =		
280 x 71,7 = 201 l CO	201	201 x 2,095 = 421 l H <sub>2</sub>
2.) <u>Für gasförmige Produkte</u>		
verbraucht		
280 x 16,5 = 46,2 l CO bzw. 2 x 12,9 =	46,2	25,8 f. CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub>
		+ 3 x 14,8 = 44,4 f. CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O
		+ 14,0 f. C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
		<u>84,2 l</u>
Gesamtverbrauch	247,2 l CO	505,2 l H <sub>2</sub>

Übertrag:

Gesamtverbrauch	267,2 l CO		505,2 l H <sub>2</sub>
Rest	32,8 l CO		49,8 l H <sub>2</sub>
Berechnetes CO : H <sub>2</sub> - Verhältnis im Endgas	1	:	1,52
gefundenes Verhältnis	1	:	1,20

Das entspricht einem Mehrverbrauch von 10 l H<sub>2</sub> gegenüber der  
Rechnung.