

30830

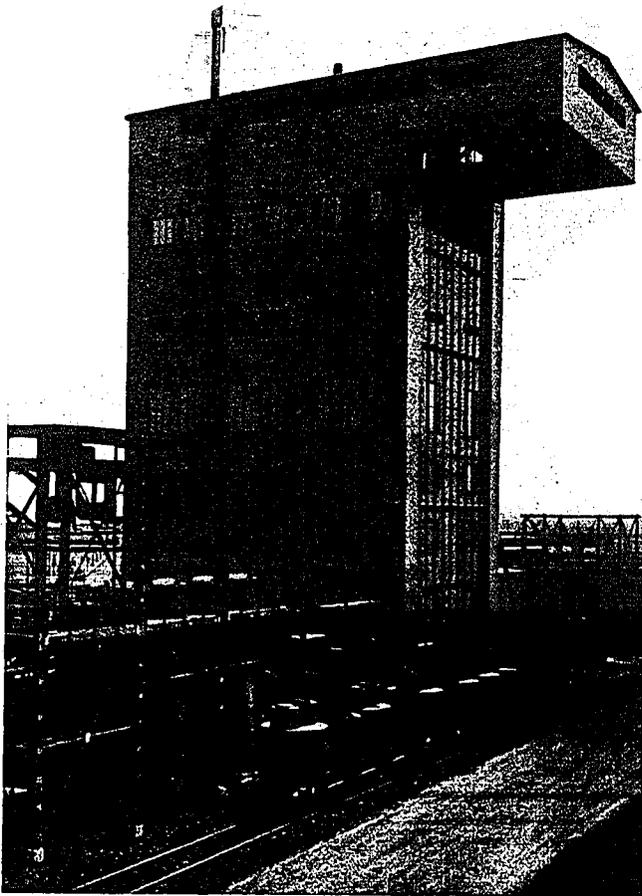


# Die Sauerstoff-Druckvergasung fester Brennstoffe

Von Dr.-Ing. Friedrich Danulat, Frankfurt a. M.

Sonderdruck aus:  
GWF. „Das Gas- und  
Wasserfach“, 84. Jahr-  
gang 1941, Heft 40, Seite  
549/52

30831



# Die Sauerstoff-Druckvergasung fester Brennstoffe

Von Dr.-Ing. Friedrich Danulat, Frankfurt a. M.<sup>1)</sup>

Arbeitsweise und Anwendung des Verfahrens. — Betriebsergebnisse. — Eignung verschiedener Brennstoffe. — Weitere Entwicklung. — Ausblick auf künftige Anwendungsmöglichkeiten.

Vor nun 14 Jahren hat Drawe als erster feste Brennstoffe betriebsmäßig mit Sauerstoff unter atmosphärischem Druck restlos vergast. Seine Arbeiten fortsetzend, entwickelte die Lurgi-Gesellschaft für Wärmetechnik das Verfahren der Sauerstoff-Druckvergasung<sup>2)</sup>. Mit der Inbetriebnahme einer nach diesem Verfahren arbeitenden ersten Großanlage ist ein weiterer Entwicklungsabschnitt vollendet, über den und insbesondere über die in ihm gewonnenen Erfahrungen in einem kurz gefaßten Überblick zu berichten meine heutige Aufgabe ist.

## Die Arbeitsweise des Verfahrens.

Der feste Brennstoff wird mit dem aus reinem Sauerstoff und überhitztem Wasserdampf bestehenden Vergasungsmittel unter einem Druck von 20 bis 30 atü kontinuierlich zu einem Rohgas vergast. Das Rohgas ergüßt, gekühlt und gereinigt und in einer Druckwasservätsche von Kohlensäure befreit, unmittelbar ein dem Stadtgas gleichwertiges Reingas, das unter dem Erzeugungsdruck für die Fernleitung zur Verfügung steht (Bild 1).

Über das Verfahren wurde bereits in früheren Veröffentlichungen berichtet<sup>3)</sup>; es genügt deshalb, zusammenfassend festzustellen, daß durch die unmittelbare Wirkung des erhöhten Vergasungsdruckes die folgenden grundlegenden Vorteile gegenüber der atmosphärischen Vergasung erreicht werden:

Es bildet sich das heizkräftige Methan in solchem Maße, daß bei Drücken zwischen 20 bis 30 atü aus jedem festen, nicht bakenden Brennstoff ein nach Entfernen der Kohlensäure normgerechtes Gas entsteht.

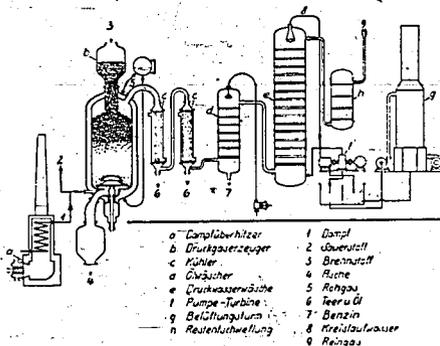


Bild 1. Arbeitsschema des Verfahrens der Sauerstoff-Druckvergasung von Brennstoffen.

<sup>1)</sup> Vortrag auf der DVGW-Tagung „Restlose Kohlevergasung“ am 8. 5. 41 in München.

<sup>2)</sup> Das Verfahren der Sauerstoff-Druckvergasung fester Brennstoffe ist aus einem Vorschlag von Dr.-Ing. O. Hubmann von diesem gemeinsam mit Dr.-Ing. F. Danulat durch die Lurgi-Gesellschaft für Wärmetechnik m. B. H. zur betriebstechnischen Reife entwickelt worden.

<sup>3)</sup> GWF 76 (1933), S. 541/45. GWF 80 (1937), S. 806/10.

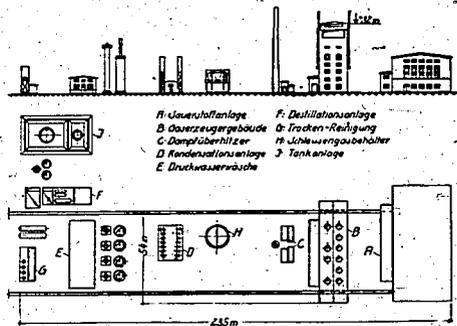


Bild 2. Schematischer Lageplan einer Großanlage.

Die Vergasungsreaktion verläuft durch die Methanbildung so exotherm, daß der Sauerstoffverbrauch auf 50 bis 60 vH des für die atmosphärische Vergasung erforderlichen herabgesetzt wird.

Die Durchsatzleistung kann bei gleichem Brennstoff wegen des mit dem Druck verringerten Gasvolumens entsprechend dem Wurzelwert des Druckes — bei 25 atü um das Fünffache — gesteigert werden.

Schließlich werden die Apparate-Abmessungen im umgekehrten Verhältnis zum Druck verringert und ihre spezifische Leistung erhöht.

## Anwendung des Verfahrens.

Vor einigen Jahren errichtete die Lurgi-Gesellschaft die erste Druckvergasungs-Anlage, die heute nach mehrjährigem Betrieb die Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit des Verfahrens erwiesen hat. Kürzlich wurde nun eine nach dem gleichen Verfahren arbeitende Großanlage in Betrieb genommen, die nach Vollendung eine Jahresleistung von 150 Mio Nm<sup>3</sup> Stadtgas erreicht.

Den Aufbau einer Großanlage zeigt Bild 2; die einzelnen Anlagenteile dienen

- der Sauerstofferzeugung und -verdichtung,
- der Rohgaszeugung,
- der Gaskühlung und -reinigung einschließlich
- der Benzingerinnung,
- der Druckwasservätsche und schließlich
- der Restentschwefelung.

In der im Betrieb befindlichen Großanlage wird eine feinkörnige Trockenbraunkohle in einem 1:1 Gemisch von Brikketgrus und Knorpeln unter einem Betriebsdruck von 20 atü vergast; Dampf und elektrische Energie liefert

Zahlentafel 1.

Betriebsergebnisse für verschiedene Brennstoffe.

Brennstoff	Braunkohle (Leuzitz)	Braunkohle (M. Dachs.)	Steinkohle (Kuhmagerkohle)
<b>1. Brennstoff</b>			
Zusammensetzung:			
Brennb. Substanz %	67,5	72,5	88,4
Wasser %	27,4	16,9	6,6
Asche %	5,1	10,6	5,0
Teergehalt %	10,2	14,8	—
Ob. Heizwert kcal/kg	4730	5030	7600
Nürnung mm	2-10	2-10	3-10
Schachbelastung kg/m <sup>2</sup> h	750	890	310
<b>2. Reingas</b>			
Zusammensetzung:			
CO <sub>2</sub> %	3,0	1,7	1,0
CO %	0,5	0,8	0,3
O <sub>2</sub> %	0,1	0,2	0,1
H <sub>2</sub> %	22,8	21,9	27,8
H <sub>2</sub> %	48,7	50,4	52,4
CH <sub>4</sub> %	22,6	22,9	16,9
N <sub>2</sub> %	2,3	2,1	1,5
Heizwert kcal/Nm <sup>3</sup>	4,448	4,426	4,432
Ob. Heizwert kcal/Nm <sup>3</sup>	4280	4510	4100
<b>3) Leistungsziffern</b>			
Gasausbeute bez. auf Reinkohle Nm <sup>3</sup> /t	1130	930	1780
spez. Sauerstoffverbrauch Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> Gas	0,15	0,147	0,198
spez. Dampfverbrauch kg/Nm <sup>3</sup> Gas	1,10	1,30	1,40
Teerausbeute in % d. Analyse	72,0	84,3	—

ein Kraftwerk. Für die Sauerstofferzeugung wird das Linde-Fränkler-Verfahren benutzt, das im Laufe der letzten Jahre für die industrielle Sauerstofferzeugung in großem Maße Anwendung gefunden hat und zu Einheiten großer Leistung entwickelt wurde.

Die Größe der Rohgaserzeugungsanlage wird durch die Leistung des einzelnen Gaserzeugers bestimmt. Wie aus früheren Veröffentlichungen bekannt, wird ein doppelmanteliger Gaserzeuger verwendet, dessen gegen Temperatur und Korrosion geschützte Außenwand die Beanspruchung durch den Innendruck aufnimmt. Die Kohle wird durch eine druckfeste Schleuse eingeführt und in gleicher Weise die Asche abgezogen, so daß der kontinuierliche Betrieb der Gaserzeugung gesichert ist. Die Gaserzeuger besitzen bei einem Schachtdurchmesser von rd. 2,5 m einen Schachtquerschnitt von 5,0 m<sup>2</sup>; eine solche Einheit leistet 3000 bis 3800 Nm<sup>3</sup> Stadlgas stündlich entsprechend einer Jahresleistung von 20 bis 25 Mio. m<sup>3</sup>. Der Tagesdurchsatz an Braunkohle beträgt bei dieser Leistung 100 bis 130 t und die Schachtbelastung 830 bis 1100 kg/m<sup>2</sup>h. Die Gaserzeuger sind doppelreihig in einem Gebäude mit darüberliegenden Bunkern angeordnet, die mittels Kühlkran beschickt werden. Die Vergasungsmittel, Wasserdampf und Sauerstoff, werden unter dem Druck von 23 bis 24 atü aus der Dampf- bzw. Sauerstofferzeugungsanlage geliefert. Das beim Einschleusen der Kohle anfallende entspannte Rohgas wird in einem Schleusengasbehälter gesammelt und vermischt mit Entspannungsgas der Druckwasserwäsche zur Dampfüberhitzung verwendet.

Die 30000 Nm<sup>3</sup>/h teerhaltiges Rohgas werden auf rd. 25° C heruntergekühlt. Hierbei fallen die kondensierbaren, flüssigen Kohlenwasserstoffe, d. h. Teer und Öl, an. Das danach noch im Gas enthaltene Benzin wird in einer Druckölwäsche entfernt. Nun tritt das auf 20 bis 30° C gekühlte Rohgas in die in mehrere Waschtürme aufgeteilte Druckwasserwäsche. In dieser wird die Kohlensäure in bekannter Weise mit im Kreislauf geführtem Druckwasser ausgewaschen und gleichzeitig zwangsläufig der größte Teil des Schwefelwasserstoffs bis auf einen Restgehalt von etwa 5 g H<sub>2</sub>S/100 m<sup>3</sup> abgeschieden, so daß man die Trockenreinigung des Gases auf die Entfernung dieses Restes beschränken kann. Am Ende der Anlage steht das Gas, den Druckverlusten in der

Anlage entsprechend, noch unter einem Druck von 18 bis 19 atü, mit dem es ohne weitere Verdichtung ferngeleitet wird.

**Betriebsergebnisse des Verfahrens.**

Der Betrieb der Anlagen und zahlreiche betriebsmäßig durchgeführte Versuche brachten reiche Erfahrungen, die der weiteren erfolgreichen Anwendung des Verfahrens dienen werden. Zahlentafel 1 zeigt die bei verschiedenartigen Brennstoffen, erzielten Betriebs- und Versuchsergebnisse.

Ergänzend kann angegeben werden, daß der Dampfzersetzungsgang bei Vergasung der Braunkohle zwischen 65 und 70 vH beträgt, die ausgetragene Asche praktisch vollkommen ausgebrannt ist, in sandiger oder granulierter Form ausgetragen wird und einen Gehalt an Verbrenlichem von nicht mehr als 5 vH besitzt, und schließlich die Reinheit des Gases den Richtlinien des DVGW entspricht.

Die Beschaffenheit des bei Vergasung mitteleuropäischer Braunkohle erzeugten Teers und Leichtöls entspricht etwa der des Schmelzteers aus gleicher Kohle. Der Druckvergasungsteer besitzt jedoch den höheren Anteil an leicht siedenden Bestandteilen, und den geringeren Staub- und Kresotgehalt. Der Anteil an unter 180° C siedenden Bestandteilen beträgt 18 Vol. vH.

Eine nähere Untersuchung zeigt, daß bei der Druckvergasung eine leichte und schonende Krackung des ursprünglichen Bitumens und vor allem der paraffinartigen Bestandteile auftritt; eine Hydrierung des Teers findet nicht statt, wie man dies an dem C<sub>H</sub>-Verhältnis in der Elementaranalyse des Mischteers erkennen kann. Die auftretenden Drücke sind für eine solche Einwirkung zu gering.

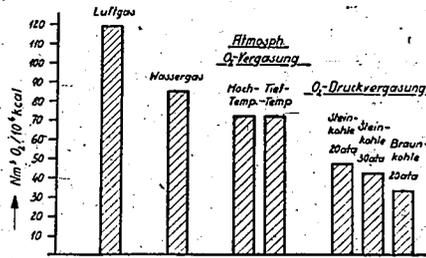


Bild 3. Sauerstoffverbrauch bei verschiedenen Verfahren.

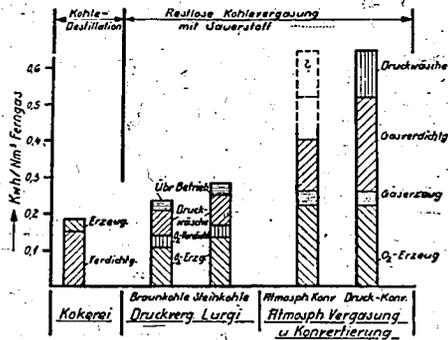


Bild 4. Energiebedarf bei verschiedenen Verfahren.

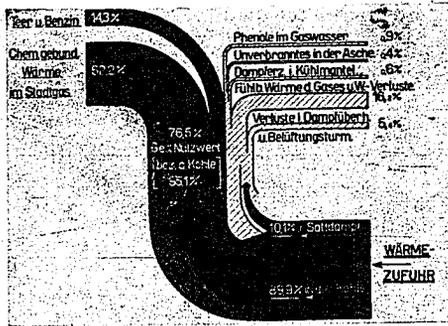


Bild 5. Wärmebilanz des Verfahrens.

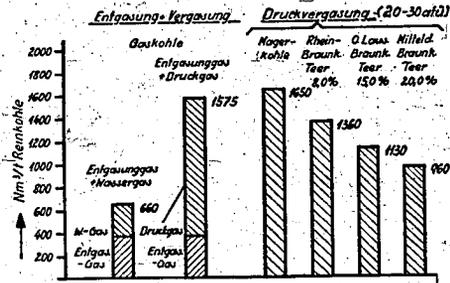


Bild 6. Gasausbeute je Tonne Reinkohle.

Bei Besprechung der Verfahrensgrundlagen stellen wir fest, daß mit Anwendung höherer Vergasungsdrücke und der damit bewirkten Methanbildung der Sauerstoffverbrauch des Vergasungsprozesses beträchtlich zurückgeht (Bild 3). Dies wirkt sich naturgemäß auch auf den Energieverbrauch der Gesamtanlage aus. Bild 4 stellt die Energieverbrauchsdaten im Vergleich zu anderen Verfahren dar. Bemerkenswert ist vor allem der nicht wesentlich höher als bei Ferngas-erzeugung über Kokereigas liegende Energiebedarf des Verfahrens, der sich ohne weiteres dadurch erklärt, daß mit der Verdichtung der nur 1/6 des Gases betragenden Sauerstoffmenge die des Gases erzielt wird.

Daß die gelegentlich sogar von Fachleuten bemängelte Kohlen säurebildung bei der Druckvergäsung kein Nachteil ist, da sie sowieso in Kauf genommen werden muß, beweist die C-Bilanz der restlosen Vergasung bei der Stadtgas-erzeugung (Zahlentafel 2). Die C-Abscheidung bedeutet also ebenso wie bei der Wasserstoffherzeugung durch Konvertierung Co-haltiger Gasgemische keinen Brennstoffverlust.

Eine Wärmebilanz des Betriebsgaserzeugers gibt schließlich Bild 5.

**Die Eignung verschiedener Brennstoffe für das Verfahren.**

Allgemein kann über die Eignung der Brennstoffe festgestellt werden:

Für das Druckvergassungsverfahren sind alle festen, nicht backenden Brennstoffe, wie Braunkohlen, magere

Steinkohlen und deren Entgasungsprodukte geeignet. Von den Steinkohlen vergasten wir betriebsmäßig die Kohlen von Wiesche, Concordia und Karsten-Zentrum und schließlich nach Alterung Amalie-Kohle. Überschreitet das Backvermögen eines Brennstoffes das zulässige Maß, so kann man eine Beseitigung der störenden Backeigenschaften durch künstliche Alterung der Kohle erreichen.

Der Gasgehalt der Kohlen ist praktisch auf die erzielbare Gasausbeute ohne Einfluß, da ja das Methan durch Vergasung und nicht durch Entgasung entsteht. Der höhere Gasgehalt eines Brennstoffes hat insofern einen gewissen Einfluß, als er je nach Höhe einen um 100 bis 200 kcal/Nm³ höheren Gasheizwert ergeben kann.

Die erzielbare Gasausbeute wird außer durch den Brennstoffheizwert durch die tatsächlich vergasbare Substanz des Brennstoffes bestimmt. Bei bitumenreichen Brennstoffen, wie z. B. mitteldeutscher Kohle, bei der der Teer mit guter Ausbeute gewonnen wird, fällt die Gasausbeute naturgemäß in entsprechendem Maße (Bild 6).

Von erheblichem Einfluß auf die Gasbeschaffenheit ist die Reaktionsfähigkeit des Brennstoffes. Der reaktionsfähigere Brennstoff ergibt bei gleichem Druck den höheren Gasheizwert, so daß man die als reaktionsfähig bekannte Braunkohle mit Drücken bis zu 25 atü zu einem Gas mit  $H_o = 4500$  kcal/Nm³ vergasen kann. Steinkohle und deren Entgasungsprodukte sind verglichen mit der Braunkohle reaktionsträge und lassen deshalb nur die Erzeugung eines Gases geringen Heizwertes zu. Der Druck bietet zwar die Möglichkeit, den Gasheizwert durch mit dem Druck verstärkte Methanbildung zu erhöhen, doch sind dieser Druck-

**Zahlentafel 2.**

Kohlenstoffbilanz für die Stadtgas-erzeugung aus H. T.-Gas und Druckgas.

Atmosph. Sauerstoff-Vergasung und Konvertierung		Sauerstoff-Druckvergäsung		
	Ausgangsgas	Stadtgas	Rohgas	Reingas
CO <sub>2</sub>	3,5	1,8	33,1	2,0
CO	0,0	1,6	1,0	1,0
O <sub>2</sub>	—	0,4	—	—
H <sub>2</sub>	64,5	18,9	15,9	23,2
CH <sub>4</sub>	31,0	49,2	32,5	46,9
N <sub>2</sub>	0,0	22,6	15,4	22,4
H <sub>2</sub> kcal/Nm³	1,0	5,5	3,1	4,5
C-Gehalt d. Gases	2800	4540	3090	4420
kg C/10 <sup>6</sup> kcal	130	55	115	60
durch Konvertieren und Auswaschen zu entfernen:		durch Auswaschen zu entfernen:		
kg C/10 <sup>6</sup> kcal	75	—	55	—
Nm³ CO <sub>2</sub> /10 <sup>6</sup> kcal	140	—	103	—

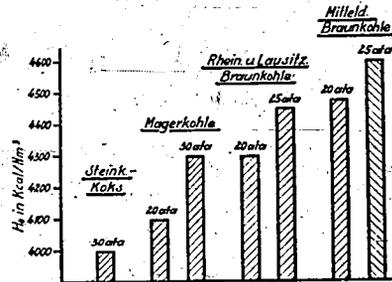


Bild 7. Oberer Heizwert des Gases bei verschiedenem Brennstoff und Vergasungsdruck.

steigerung vorläufig technische Grenzen gesetzt. Die bei 20 atü vergaste Wiesche-Magerkohle ergab einen Gasheizwert von 4100 kcal/Nm<sup>3</sup>, und man wird, wie eine Extrapolation der Versuchsergebnisse zeigte, bei etwa 30 atü 4300 kcal/Nm<sup>3</sup> erreichen. Mit noch schlechter reagierenden Brennstoffen, wie Hochtemperaturkoks, wird man bei 30 atü mit  $H_g = 4000 \text{ kcal/Nm}^3$  rechnen können (Bild 7).

Der zulässige Wassergehalt des Brennstoffs — dies gilt für Braunkohle — ist mit etwa 25 vH nach oben begrenzt, da die dem Rohgas eigene fühlbare Wärme darüber hinaus nicht für die Wasserverdampfung ausreicht und Sumpfbildung in der oberen Brennstoffschicht mit ihren bekannten nachteiligen Folgen für den Gaserzeugergang eintritt.

Die Brennstoffasche kann durch niedrigen Schmelzpunkt die Vergasbarkeit beeinträchtigen. Man muß in diesem Fall die Vergasungstemperatur herabsetzen und mit dem kälteren Fahren erhöht man Sauerstoff- und Dampfverbrauch. Brennstoffe mit bis zu 30 vH Asche wurden betriebsmäßig mit Erfolg vergast.

Schwefelhaltige Kohlen vergast man mit gleich gutem Ergebnis, da die Hauptmenge des H<sub>2</sub>S-Schwefels in der Druckwasserwäsche entfernt wird, so daß die Trockenreinigung nicht stärker als üblich belastet zu werden braucht.

Vorteilhaft wird man feinkörnige (2 bis 25 mm Korn) und daher preiswerte Brennstoffe verarbeiten. 2 bis 10 mm ist eine sehr geeignete Körnung, die gute Gasverteilung im Brennstoffbett bringt. Größere Sorten als 25 mm zu verarbeiten, hindert vorläufig die Konstruktion der Einschleusorgane. Staubkohle unter 2 mm Korn kann man nicht vergasen. Auch ist ein Gehalt des Brennstoffs an diesem Korn unter 2 mm nachteilig für die Durchsatzleistung des Gaserzeugers und Qualität des erzeugten Teers.

Über die Eignung des Brennstoffs entscheiden zuletzt die Gaserzeugungskosten. Von berufener Seite wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Selbstkostengliederung eines mit restloser Brennstoffvergasung arbeitenden Gaswerkes grundlegend verschieden von der der jetzigen Gaswerke ist. Während bei letzteren Kohle und Koks mit rund 70 vH des Gesamtumsatzes den Gaspreis als Restglied bestimmen, sind die Gaserzeugungskosten der restlosen Vergasung weitgehend durch reine Ausgaben für die Gaserzeugung festgelegt; nur bei den bitumenreichen Braunkohlen haben die in Form von Teer, Öl und Benzin gewonnenen Nebenprodukte auf den Gaspreis einen wesentlichen Einfluß, der aber wertmäßig nicht entfernt dem des Kohle- und Koksumsatzes bei der Gaserzeugung durch Kohlendestillation entspricht.

Eine Berechnung der Wärmepreise des durch Druckvergasung erzeugten Ferngases bei verschiedenen Brennstoffen und unter gleichen Voraussetzungen zeigt, daß der Wärmepreis am günstigsten bei der mitteldeutschen Braunkohle liegt. Er wird weitgehend durch Wärmepreis der Einsatzkohle und Teergehalt, des Brennstoffs bestimmt.

Die Druckvergasung von Steinkohlenkoks wird zunächst geringeres Interesse finden, denn der Koks, dessen Erzeugung und Absatz mit gutem Preis dem Gaswerk heutiger Form die Rentabilität sichert, ist ein veredelter, stückiger Brennstoff, mit dessen Verwendung der Vorteil des Verfahrens, die Vergasung preiswerter feinkörniger Brennstoffe zu ermöglichen, schwindet; günstigenfalls wird man den Wärmepreis des Wassergases erreichen. Immerhin soll festgehalten werden, daß bei dem höheren Heizwert des durch Druckvergasung erzeugten Gases eine Mischgaserzeugung mit praktisch restloser Koksvergasung technisch durchführbar ist. Die geringeren

Gaserzeugungskosten ergibt aber unbedingt die Druckvergasung der Magerkohle.

#### Weitere Entwicklung des Verfahrens.

In der weiteren Entwicklung des Verfahrens haben wir uns mit der Entgiftung des durch Druckvergasung erzeugten Gases beschäftigt. Die zum Zwecke der Gasentgiftung bisher bekannt gewordenen Verfahren betreffen die Umwandlung des Kohlenoxyds zu Wasserstoff oder Methan.

Die neueren Arbeiten der Lurgi-Gesellschaft für Wärmetechnik m. b. H. gehen von der grundsätzlichen Überlegung aus, daß die Gasentgiftung nur dann mit Vorteil und unter Umständen mit einer Verringerung des Gaswärmepreises durchgeführt werden kann, wenn man das unerwünschte Kohlenoxyd in hochwertige flüssige Kohlenwasserstoffe umwandelt. Es ist gelungen, geeignete Katalysatoren zu entwickeln, die bei einem Verbrauchsverhältnis von CO<sub>2</sub>:H<sub>2</sub> wie 2:1 bis 1:1 die Brenneigenschaften des Gases erhalten.

#### Ausblick auf künftige Anwendungsmöglichkeiten.

Aus dieser kurzen Betrachtung des Verfahrens, seiner Grundlagen und seiner Betriebsergebnisse ergeben sich als seine kennzeichnenden Merkmale:

die restlose Vergasung des Brennstoffs zu normgerechtem Stadtgas;

die Vergasung billiger, feinkörniger, aschereicher Brennstoffe bei hoher Durchsatzleistung;

geringer Sauerstoffverbrauch des Vergasungsprozesses, bezogen auf die ausgebrachte Gaswärme;

hohe Gasausbeute bei gleichzeitiger Gewinnung von Teer, Öl und Benzin;

die Gaserzeugung unter hohem Druck, der eine weitere Verdichtung des Gases für die Fernleitung erübrigt;

eine hohe spezifische Leistung der Gesamtanlage bei geringem Platzbedarf;

eine weitgehende Anpassungsfähigkeit der Gaserzeugung an den Gasabsatz und den zur Verfügung stehenden Brennstoff.

Neben der Eigenversorgung industrieller Betriebe ist das Lurgi-Druckvergasungs-Verfahren hervorragend zur Erzeugung von Ferngas in Stützpunktwerken geeignet.

In den Steinkohlenrevieren kann es vornehmlich für die Deckung des Spitzenbedarfs und darüber hinaus auch jenes Bedarfs eingesetzt werden, der sich mit den bisherigen Verfahren nicht befriedigen läßt. In diesem Fall wird man mit Vorteil den anfallenden, zum Teil aschereichen Feinkoks und Magerfeinkohle der Körnung 2 bis 10 mm oder darüber vergasen, wobei der Gasheizwert gegebenenfalls entweder durch Beimischung von Kokereigas oder durch eine zusätzliche und in beschränktem Umfang angewendete Kohlenwasserstoff-Synthese ausgeglichen werden kann.

In großem Maßstab ist das Verfahren in den Braunkohlengebieten anwendbar. Schafft man der sich entwickelnden großdeutschen Gasfernversorgung in der Braunkohle eine neue weitere Basis und verbindet damit die Treibstoffherzeugung, so entstehen gleichzeitig in zwei Sektoren der Energie-Erzeugung — der der gasförmigen und flüssigen Brennstoffe — neue aussichtsreiche Entwicklungsmöglichkeiten.

30836

