

1. Teil

# Generatoren für Luft- und Wassergas

Von

**Dr.-Ing. Fritz Wehrmann**

Duisburg

## A. Einleitung und Überblick.

Die Rostfeuerung, die anfangs sowohl für die üblichen Gaserzeugungsöfen wie auch für industrielle Verfahren oder Beheizungen ausreichte, wurde durch die schnelle Entwicklung der Technik bald überholt. Ungenügend war sie einerseits in ihrer Wirtschaftlichkeit, weil sie die im Brennstoff zugeführte Energie in zu geringem Umfange dem eigentlichen Arbeitsvorgang abgab, andererseits in ihrer Betriebsbrauchbarkeit, weil sie schlecht regelbar und Sondervorgängen schwer anzupassen war. Außerdem blieb sie von der Güte des Brennstoffes, wie auch von der Bedienung, weitgehend abhängig.

Während bei der Rostfeuerung Erst- und Zweitluft unmittelbar durch bzw. über die im allgemeinen niedrige Brennstoffschicht zugeführt werden, wird bei der Zwischenstufe des Halbgenerators oder der Halbgasfeuerung die Zweitluft erst dem fertig gebildeten Generatorgas am Ausgang oder hinter dem Generator zugesetzt. Der Halbgenerator wurde deshalb noch der Verwendungsstelle möglichst nahe vorgelagert, also noch in den Entgasungsöfen od. dgl. eingebaut. Eine besonders bekannte Form war der Siemens-Schrägrostgenerator<sup>1)</sup>, bei dem das auf einem treppenförmigen Schrägrost in geringer Schichthöhe liegende Brennstoffbett von der Erstluft quer durchströmt wurde. Zur Verringerung der Schlackenbildung wurde bereits Wasser unter dem Rost zerstäubt bzw. durch die Schlackenhitze verdampft.

Um die Gasbeschaffenheit zu verbessern und sich von der Sorgfalt der Bedienung einer gleichmäßigen Schütthöhe unabhängig zu machen, wurde im Vollgenerator oder Schachtgenerator die Brennstoffschicht so erhöht, daß der Weg der Erstluft bzw. des erzeugten Schwachgases dem Brennstoffstrom entgegen lief. Gleichzeitig wurde die Wasserverdampfung verbessert — auch in Form einer Wasserdampfführung — und der Zweitluftzusatz bis zur Verwendungsstelle, dem im Ofen liegenden Brenner, verschoben. Entsprechend der Größe des Brennstoffvorratschachtes wurde der Vollgenerator dem zu beheizenden Ofen an- oder vorgebaut. Dieses Auseinanderziehen von Erzeugung und Verwendung des Gases ermöglichte den wärmewirtschaftlich wichtigen Austausch der abziehenden Abgaswärme an die Verbrennungsluft, wodurch nicht nur ein Teil dieser Wärme zurückgewonnen, sondern auch durch Er-

<sup>1)</sup> G. de Grahl, Wirtsch. Verwertg. d. Brennst., München 1921, S. 177.

höhung der Flammentemperatur die Heizleistung bzw. Verwendbarkeit des Schwachgases wesentlich gesteigert wurde.

Mit zunehmender Leistung wurde der mit Kaminzug betriebene angebaute Gaserzeuger zur frei stehenden, selbständigen Apparatur, zum Zentralgenerator. Dieser vermochte bei geregelter Windzufuhr das Gas in noch besser gesicherter Gleichmäßigkeit und in der für die neuzeitlichen Verwendungszwecke erwünschten Reinheit zu liefern, zudem war er weniger abhängig von der Brennstoffbeschaffenheit, erlaubte stärkere Schwankungen und Überlastungen und erleichterte die Bedienung bedeutend.

Obwohl ein Gaserzeuger oder Generator an sich zur Erzeugung der verschiedensten Gasarten und Gasheizwerte dienen kann, ist doch die Bezeichnung »Generatorgas« technisch allgemein üblich für die richtiger als »Schwachgas« oder »Luftgas« zu bezeichnenden Gasarten, die mit Luftzusatz arbeiten und infolgedessen den gesamten Stickstoffballast dieser Luft in das Gas übernehmen. Aber nicht nur der Stickstoffballast ist für den niederen Heizwert maßgebend, sondern auch der Brennstoff und in Einzelfällen die Arbeitsweise. Schwachgaserzeuger arbeiten vorwiegend mit teerfreien Brennstoffen, unter denen der Hochtemperaturkoks überwiegt. Soweit heizwertreichere Brennstoffe verarbeitet werden, wird dieser höhere Energieinhalt meist mehr auf Gasmenge als auf Gasheizwert hingeleitet.

Der Zentralgenerator konnte sich nach seiner Loslösung von der Verwendungsstelle unabhängig von dieser entwickeln und zeigt einerseits in den Hauptlinien gleichmäßige Ausrichtungen, andererseits vielerlei Sonderausbildungen in Einzelheiten, bedingt durch die Brennstoffart, Körnung oder durch den Zweck der Leistungssteigerung, der Erleichterung der Bedienung oder der Ausnutzung der Wärme.

Fast alle Generatoren arbeiten, um Schlackenschwierigkeiten zu vermeiden, mit Wasserverdampfung im Unterwindstrom oder mit Dampfzusatz zu diesem, erzeugen also kein reines Generatorgas, sondern durch die gleichzeitige Wassergasreaktion zwischen Brennstoff und Wasserdampf ein Gemisch von Luftgas und Wassergas, auch als Halbwassergas bezeichnet.

Eine Ausnahme hiervon machen nur die auf flüssige Schlacke arbeitenden Abstichgeneratoren.

Eine besonders für den Kraftgasbetrieb übliche Sonderbetriebsweise der Gaserzeuger zeigen die Sauggasanlagen. Grundsätzlich entsprechen sie in der Antriebsart den durch Kaminzug betriebenen Einbaugeneratoren; den Saugzug übernimmt der Hub des angeschlossenen Motors. In der übrigen Ausbildung entsprechen die Sauggasanlagen den bei den Zentralgeneratoren gesammelten Erfahrungen.

Die bei den feststehenden Generatoren gesammelten Erfahrungen fanden in neuerer Zeit vielfache Anwendung bei der Ausbildung fahr-

barer Gaserzeuger zum Antrieb von Schiffen und Landfahrzeugen. Diese zunächst durch Treibstoffknappheit oder ungünstige Treibstoffmarktlage verursachte Entwicklung hat in örtlich und zeitlich verschiedenem Umfange schon mehrfach große Bedeutung erreicht und ist vor allem für treibstoffarme Länder wehrpolitisch wichtig.

Neben gasarmen Brennstoffen finden in den Schwachgasgeneratoren auch bituminöse Brennstoffe Verwendung, wobei die Teerbestandteile entweder durch besondere Betriebsanordnung ganz oder teilweise verkrackt werden oder z. T. als Generatorteer anfallen. Um den Bitumengehalt in hochwertiger Form zu gewinnen, werden Generatoren auch mit Schwelaufsatz versehen (Schwelgeneratoren) und die Schwelteergewinnung von der Vergasung des Koks abgesondert.

Ebenfalls zu den Schwachgasen, d. h. zu den aus gasarmen Brennstoffen erzeugten Gasen, ist das Wassergas (auch Blauwassergas genannt) zu rechnen. Seine Erzeugung fand Einführung in die Gasindustrie vor allem, als die Krummhübeler Richtlinien 1921 für die Gasbeschaffenheit einen Heizwert von 4000—4300 kcal/Nm<sup>3</sup> mit nicht mehr als 15% Inerten und einem Dichteverhältnis von < 0,5 verlangten. Ein Gas dieser Art war nicht oder kaum durch Generatorgas- oder Rauchgaszusatz zu erreichen. Außerdem eignet sich das Wassergas infolge seiner Brenneigenschaften für manche technische Zwecke besser als Generatorgas.

Von dem Generatorgas-Schwachgas unterscheidet sich das Wassergas grundsätzlich durch das Fehlen des Stickstoffballastes. Während im Schwachgasgenerator die das Brennstoffbett aufheizende Verbrennung zeitlich und räumlich ständig mit der Vergasung vereinigt ist, wird beim Wassergasgenerator diese Aufheizung von der Vergasung getrennt, entweder zeitlich durch Wechselbetrieb, oder räumlich durch Wärmezufuhr auf anderem Wege. Durch Wegfall des Stickstoffballastes wird der Heizwert des Wassergases höher als der des Generatorgases, bleibt aber noch unter den Heizwerten der gemischten oder reinen Stark- oder Destillationsgase.

Der Wassergasgenerator, stets als frei stehender Generator entsprechend dem Zentralgenerator ausgeführt, hat in vielerlei Grundzügen und Einrichtungen eine diesem gleichartige Entwicklung gezeigt, braucht aber naturgemäß im übrigen entsprechend der andersartigen Arbeits- und Betriebsweise verschiedene Sondereinrichtungen und zusätzliche Apparaturen.

Auch hier waren Brennstoffbeschaffenheit, Leistungssteigerung, Gasbeschaffenheit und Vereinfachung der Bedienung wie beim Zentralgenerator für die Durchführung bestimmend, außerdem aber in starkem Umfange die Betriebssicherheit.

Das durch Anreicherung des Blauwassergases mit heizwertreichen Stoffen erhaltene karburierte Wassergas gehört zwar dem Heizwert und

der Gaszusammensetzung nach nicht unbedingt zu den Schwachgasen, seine Herstellung und Eigenschaften sind aber nachstehend mit zu erwähnen, weil die Karburierung den Wassergasprozeß voraussetzt und diesen nur durch ein nicht organisch zugehöriges, zusätzliches Verfahren ergänzt. Die Anwendung des Karburierens ist vor allem an den Teer- und Ölmarkt gebunden. Karburieren mit Rohteer hat sich trotz immer erneuter Versuche im allgemeinen als nicht aussichtsreich erwiesen und konnte nur für Braunkohlenteer im Krackgenerator wirtschaftlich durchgeführt werden. Sonst konnten gute Ergebnisse nur mit veredelten Karburiermitteln (Teeröle, Gasöle) erreicht werden.

Die Herstellung von blauem und karburiertem Wassergas hat in verschiedener Hinsicht technisch außerordentlich vervollkommnete Ausführungsformen erreicht, einerseits durch Automatisierung des Wechselbetriebsverfahrens, anderseits durch Ausbildung ununterbrochener Arbeitsweisen. Außerdem brachte der große Wassergasbedarf für die Synthesegaserzeugung in neuester Zeit erhebliche Leistungssteigerungen dieser Anlagen mit sich.

Die Vielheit der mit den verschiedenen Brennstoffen und Generatorbauarten und Betriebsweisen erzeugten Gasarten hat zu einer großen Vielfältigkeit in der Namengebung geführt. Es ist deshalb zweckmäßig, diese Vielheit auf die Grundbegriffe zurückzuführen.

Die Hauptunterscheidung Schwachgase und Starkgase (an Stelle der weniger schönen Namen Arm- und Reichgase) trennt die vor allem aus entgasten oder gasarmen Brennstoffen und unter Abbau höherer Kohlenwasserstoffe bzw. unter Verdünnung mit Luftstickstoff erhaltenen, gegebenenfalls auch mit Schwelgas gemischten Vergasungsgase, etwa bis 3500 kcal/Nm<sup>3</sup>, von den heizwertreicheren Entgasungsgasen oder deren Gemischen.

Zu den Schwachgasen gehören einerseits Generatorgase, die mit Luft oder mit Luft und Wasserdampf erzeugt werden. Das mit Luft allein, also trocken erzeugte Generatorgas wird auch richtig als Luftgas bezeichnet (nicht zu verwechseln mit dem früher einmal üblichen, völlig überholten Benzin-Luft-Gemisch, das man auch Luftgas nannte). Das mit Luft und Dampf erzeugte übliche Gemisch von trockenem Generatorgas und Wassergas heißt allgemein Halbwassergas und kann sinngemäß richtiger als Luftwassergas bezeichnet werden. Das nur aus Koks oder sonstigem Kohlenstoff mit Wasserdampf erhaltene Gas heißt eindeutig Wassergas, der frühere Name Koksgas ist nicht mehr üblich und nicht eindeutig. Das unter Sauerstoffzusatz mit Wasserdampf im Fließbetrieb hergestellte, daher vom üblichen Wassergas durch höheren CO + CO<sub>2</sub>-Gehalt unterschiedene Gas muß als Sauerstoffwassergas im Gegensatz zu dem stickstoffhaltigen Luftwassergas (s. oben) bezeichnet werden.

Das karburierte Wassergas ist durch seinen Namen als Abart des Wassergases gekennzeichnet.

Die Verwendung dieser Schwachgase ist in der Großindustrie wie im Kleingewerbe für die verschiedensten Heizungs-, Wärme-, Fabrikations- und Kraftzwecke sehr vielseitig. Insbesondere ist das Luftgas und Luftwassergas für Heiz- und Kraftzwecke, das Wassergas für die Schweißung, als Zusatzgas in der Mischgasherstellung und als Ausgangsgas für verschiedene Synthesen in der chemischen und Treibstofftechnik wichtig.

## B. Generatoren für Luftgas (Schwachgasgeneratoren).

### I. Generatorgas.

#### a) Chemische und physikalische Vorgänge der Generatorgaserzeugung.

Die Vorgänge im Generator sind sehr vielseitig und verschieden je nach Beschaffenheit und Form des Brennstoffes und nach der Arbeitsweise. Von grundlegender Bedeutung und bei allen Brennstoffen in Gasergeneratoren im wesentlichen gleich sind die Umsetzungen, die sich in der Brennzonen (Reaktionszone) dicht über der Schlackengrenze vollziehen. In diesem Bereich wird Kohlenstoff mit von unten zugeführter Luft und Wasserdampf umgesetzt. Nebeneinander finden statt die Verbrennung von C zu  $\text{CO}_2$ , die Reduktion von  $\text{CO}_2$  zu CO, die Wassergasbildung und das Wassergasgleichgewicht. Die letzteren zwei Umsetzungen fallen nur beim Abstichgenerator (s. das.) mangels Wasserdampfzusatz weg. Oberhalb dieser Reaktionszone sind die Vorgänge nur physikalischer Art, bei Koksen erfolgt Trocknung und allenfalls Staubsichtung durch den Gasstrom, bei bituminösen Brennstoffen und Holz außer der Trocknung die Schwelung und eine teilweise Verkrackung von Schwelprodukten. Bei Umwälzverfahren kann auch weitgehend oder vollständig verkrackt werden, dann erfolgt die Verkrackung wiederum in der Reaktionszone über der Schlacke. Bei Generatoren mit absteigender Vergasung (vgl. S. 85, 91), auch als umgekehrte Verbrennung bezeichnet, wird die Brennstoffsäule nur durch strahlende und leitende Wärme der Feuerzone erwärmt und getrocknet bzw. geschwelt; die Verbrennungsluft wird von oben nach unten durchgeleitet und in der Reaktionszone über dem Rost erfolgen Vergasung und Verkrackung nebeneinander.

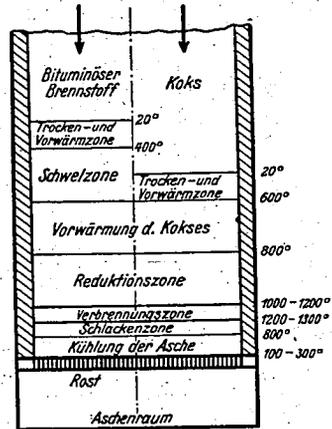
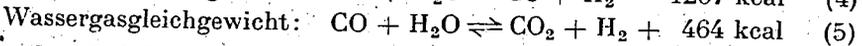
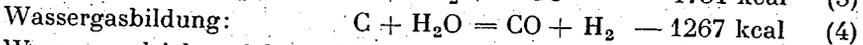
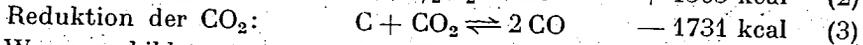
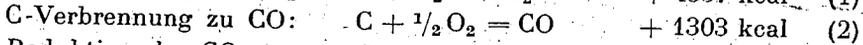
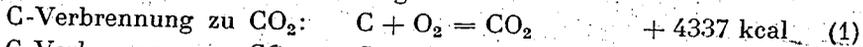


Abb. 1. Reaktionszonen in Gasergeneratoren.

Eine schematische Übersicht über die Zonen im Gaserzeuger für aufsteigende Vergasung geben Müller und Graf<sup>1)</sup> (Abb. 1) getrennt für bituminöse Brennstoffe und Kokse, unter Angabe der Temperaturlage, wobei die oberen Grenztemperaturen für frisch aufgeworfenen Brennstoff gelten.

Die chemischen Umsetzungen und die damit verbundenen Wärmetönungen (bezogen auf 0,536 kg C  $\sim$  1 m<sup>3</sup> CO bzw. CO<sub>2</sub>) in der Reaktionszone des Generators sind folgende:



Die Reduktion des Kohlendioxyds (3) ist eine umkehrbare Reaktion und wird als Generatorgasgleichgewicht oder Boudouardsches Gleichgewicht bezeichnet. Mit steigender Temperatur nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit von links nach rechts, also zur CO-Bildung, zu; in einem zu kalten Generator verläuft die Reaktion stärker von rechts nach links, ergibt also ein kohlendioxydreiches Gas. Das Gleichgewicht ist erreicht, wenn bei einer gewissen Temperatur die beiden Reaktionsgeschwindigkeiten gleich sind, also die erreichten Konzentrationen an CO und CO<sub>2</sub> den dieser Temperaturlage entsprechenden Wert erreicht haben.

Die Geschwindigkeit  $v_1$  der Reaktion von links nach rechts folgt aus der Konzentration von CO<sub>2</sub> und der Reaktionskonstante  $k_1$ , entsprechend die Geschwindigkeit von rechts nach links,  $v_2$ , aus dem Quadrat der Konzentration von CO (2 Mol.). Da bei Gleichgewicht

$$v_1 = k_1 [\text{CO}_2] = v_2 = k_2 [\text{CO}]^2,$$

ergibt sich die Gleichgewichtskonstante:

$$k = \frac{k_1}{k_2} \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}.$$

Für den reinen Generatorgasprozeß (Vergasung von C mit trockener Luft) ergeben sich bei den verschiedenen Temperaturen folgende Gleichgewichtszusammensetzungen des Generatorgases<sup>2)</sup>:

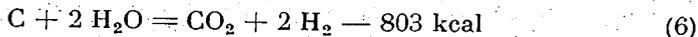
Temp.	CO <sub>2</sub>	CO	N <sub>2</sub>	Gleichgewichtskonstante
400	20,6	0,9	78,5	0,00039
500	17,1	6,4	76,5	0,02396
600	10,1	18,1	71,8	0,3241
700	3,1	29,4	67,5	2,789
800	0,6	33,7	65,7	18,94

<sup>1)</sup> Brennst.-Chemie 20 (1939), S. 243.

<sup>2)</sup> K. Bunte u. A. Schneider, Zum Gaskursus, München 1929, S. 76.

Nach den von W. J. Müller und E. Graf<sup>1)</sup> gegebenen Berechnungen über die Versuche von Horak an einem Hochdruck-Dampfkesselgenerator stellen sich diese Gleichgewichte allerdings bei Koks nie vollständig ein.

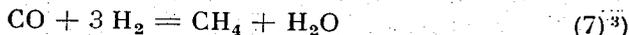
Hinsichtlich der neben der Generatorgasbildung laufenden Wassergasumsetzung ist die frühere Annahme, daß neben der bei höherer Temperaturlage gültigen Reaktion (4) bei niedriger Temperatur noch die Umsetzung:



stattfinde, auf Grund neuerer Beobachtungen dahingehend berichtigt worden, daß nur die Reaktionen (4) und (5) nebeneinander bestehen<sup>2)</sup>. Weiteres über Wassergasumsetzung und Wassergasgleichgewicht vgl. unter Wassergas.

Diese Formeln und Wärmetönungen weisen in Übereinstimmung mit den Betriebserfahrungen darauf hin, daß einerseits Luftmangel mehr zur Umsetzung (2) statt (1) zwingt, also weniger Wärme im Brennstoffbett erzeugt, andererseits Dampfüberschuß zu starke Wärmebindung nach (4) verursacht, also ebenfalls die Generator Temperatur senkt.

Neben vorgenannten Umsetzungen wird beim Generatorprozeß in allerdings nur geringem Umfange noch Methan gebildet:



Die günstigste Temperatur für die Methanbildung liegt etwa bei 300°, eine Steigerung der Temperatur verschiebt das Methangleichgewicht wieder nach links:

Temperatur °C . . .	125	200	240	300	320	400	500	600	800	1000
% Methan . . . . .	0	20	80	98	100	95	63	35	10	2

Im Generatorgas ist daher der Methangehalt im allgemeinen sehr gering und liegt bei etwa 0,4%.

Die erwähnten Wärmetönungen werden in Verbrennungsrechnungen nicht immer auf 0,536 kg C bezogen, es treten auch andere kcal-Werte auf, z. B. mit Bezug auf 1 Atom C<sup>4)</sup>. Dolch weist auch darauf hin, daß die in der Literatur angegebenen Wärmetönungen der Verbrennungsreaktionen verschiedene Werte aufweisen, je nach der zugrunde gelegten Verbrennungswärme des Kohlenstoffs. Diese ist für Graphit, Ruß, Steinkohlenkoks usw. verschieden. So wurde z. B. ermittelt:

Amorpher Kohlenstoff . . . .	97,8 kcal/Atom C bzw.	8150 kcal/kg C
Hochtemperaturkoks-C . . .	96,0 » » »	8000 » »
Azetylenruß (je nach Herstellung) . . . . .	7886—8110 » »	» »
Retortenkohle (je nach Erhitzung) . . . . .	7846—8047 » »	» »

<sup>1)</sup> W. J. Müller u. E. Graf, Brennst.-Chemie 20 (1939), S. 243.

<sup>2)</sup> P. Dolch, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 807.

<sup>3)</sup> Neumann, Gas- u. Wasserfach 68 (1925), S. 607.

<sup>4)</sup> P. Dolch, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 109.

Die nachfolgende, von Dolch aufgestellte Übersicht zeigt die Abweichungen, die sich durch Gebrauch der Verbrennungswärmen von Graphit oder Kohlenstoff aus Hochtemperaturkoks bzw. Braunkohlenkoks ergeben. Diejenigen Umsetzungen, deren Wärmewert durch die Kohlenstoffherkunft beeinflusst werden, sind mit o versehen.

Zahlentafel 1.  
Wärmetönungen der Vergasungsgleichungen des Kohlenstoffs in kcal/Atom C bei 0°:

Vorgang	Bestimmung	kcal, bezogen auf C aus		
		Graphit	Steinkohlenkoks	Braunkohlenkoks
I. $C + O_2 = CO_2$	gemessen	o + 94,0	o + 96,0	o + 97,8
II. $CO + \frac{1}{2}O_2 = CO_2$	»	+ 67,7	+ 67,7	+ 67,7
III. $H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O_d$	»	+ 57,6	+ 57,6	+ 57,6
IV. $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O_d$	»	+ 191,3	+ 191,3	+ 191,3
IV. $C + \frac{1}{2}O_2 = CO$	I - II	o + 26,3	o + 28,3	o + 30,1
VI. $C + CO_2 = 2CO$	I - (2. II)	o - 41,4	o - 39,4	o - 37,6
VII. $C + H_2O_d = CO + H_2$	I - (II + III)	o - 31,3	o - 29,3	o - 27,5
VIII. $CO + H_2O_d = CO + H_2$	II - III	+ 10,1	+ 10,1	+ 10,1
IX. $C + 2H_2 = CH_4$	I + (2. III) - IV	o + 17,9	o + 19,9	o + 21,7
X. $CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$	II + (3. III) - IV	+ 49,2	+ 49,2	+ 49,2

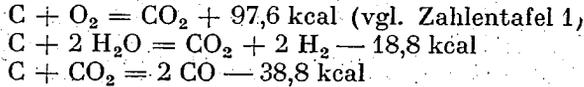
Es ist danach notwendig, wichtige technische Verbrennungsrechnungen auf den jeweils verarbeiteten Kohlenstoff zu beziehen.

Bei den Reaktionen mit  $H_2O$  ist hierbei das Wasser in Dampfform angenommen. Auch in dieser Beziehung sind in der Literatur, wie Dolch (a. a. O.) bemerkt, Verschiedenheiten anzutreffen, die leicht ein falsches Bild entstehen lassen. So würde z. B. die Wärmetönung des Wassergasgleichgewichtes (5) bei Berechnung auf flüssiges Wasser nahezu auf 0 kommen, obwohl bekannt ist, daß bei Konvertierung des Kohlenstoffs mit Wasserdampf große Wärmemengen frei werden.

Graphische Untersuchungen über die im Generatorprozeß sich abspielenden Gasreaktionen stellen Claus und Neußel an<sup>1)</sup> unter Bezugnahme auf Wa. Ostwalds Vergasungsdreieck. Ostwald empfiehlt<sup>2)</sup> die Darstellung des Generatorprozesses im Gibbsschen Dreieckskoordinatensystem. Da die eigentliche Generatorgasreaktion nur auf Koks oder verkoktem Brennstoff und dessen Umsetzungen mit Luftsauerstoff und Wasserdampf beruht, entsteht als Endergebnis in der Hauptsache  $CO_2$ ,  $CO$  und  $H_2$ . Ostwald geht nun von dem Gedanken aus, daß es thermochemisch und energetisch gleichgültig ist, auf welchem Wege von denselben Ausgangsstoffen aus das jeweils durch die Gaszusammensetzung gekennzeichnete Endergebnis erreicht wird. Die drei Grundgleichungen:

<sup>1)</sup> W. Claus u. L. Neußel, Zeitschr. VDI 65 (1921), S. 769.

<sup>2)</sup> Wa. Ostwald, Monographien zur Feuerungstechnik, 2, Leipzig 1920.



ordnet er an je einer Ecke des Koordinatendreiecks an (Abb. 2) als 100proz. Umsetzung, die mit Entfernung von diesem Eckpunkt an Vollständigkeit abnimmt. Je nach festgestellter Gaszusammensetzung ist die Lage des zugehörigen Vorganges im System zu ermitteln (s. später).

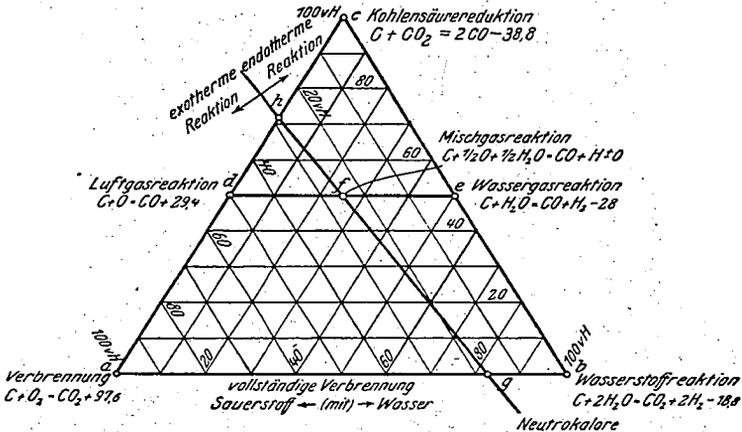


Abb. 2. Vergasungsdreieck nach Wa. Ostwald.

Natürlich sind hierbei nicht die wirklichen, mit Stickstoffballast versehenen Reaktionen oder Gaszusammensetzungen zugrunde gelegt, sondern die ideale Generatorgasbildung mit  $\text{O}_2$  statt mit Luft. Die Neutrokalore  $g-h$  trennt die exothermen von den endothermen Reaktionen, die auf dieser Linie liegenden Umsetzungen zeigen Wärmeausgleich.

Die Reaktionen des ununterbrochenen Generatorbetriebes liegen im Trapez  $a d f g$ , da für die rechts der Neutrokalore liegenden Umsetzungen fremde Wärmezufuhr nötig wäre, für die oberhalb  $d-f$  liegenden noch fremde Kohlensäurezufuhr.  $a d f g$  wird deshalb als »Generatorgastrapez« bezeichnet.

Die Neutrokalore  $f-g$  hat in diesem Trapez die Bedeutung, daß die ihr näher liegenden, eine bestimmte Vergasung darstellenden Punkte einem höheren Wirkungsgrad entsprechen als die von  $f-g$  weiter entfernt liegenden.

Ostwald entwickelte hierzu ein zeichnerisches Verfahren, nach dem es möglich ist, aus der Gaszusammensetzung den entsprechenden Vergasungsvorgang zu finden. An Stelle dieses etwas umständlichen Verfahrens fanden Claus und Neußel<sup>1)</sup> ein Verfahren, unter Benutzung

<sup>1)</sup> W. Claus u. L. Neußel, Z. VDI 65 (1921), S. 770.

eines Hilfsliniennetzes von Linien gleicher Raumverhältnisse zwischen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$  die Vergasungspunkte im Generatorgastrapez auf einfache Art zu finden.

Ebenfalls von Ostwalds Vergasungsdreieck ausgehend, stellt Dawidowski<sup>1)</sup> fest, daß von praktischer Bedeutung für den Gaserzeugungsbetrieb nur die Umsetzungen sind, die in einem innerhalb des Vergasungstrapezes liegenden engeren Vergasungssechseck einzuordnen sind (Abb. 3). Die Darstellung dieses Sechsecks in vergrößertem Maßstab vereinfacht und verdeutlicht die zeichnerische Ermittlung der Reaktionen.

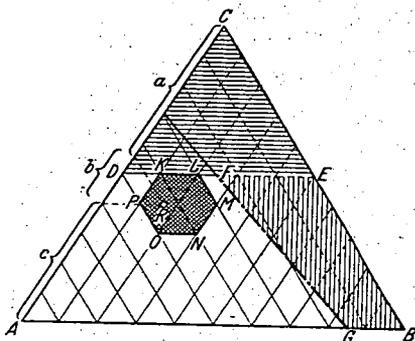


Abb. 3. Vergasungssechseck nach Dawidowski.

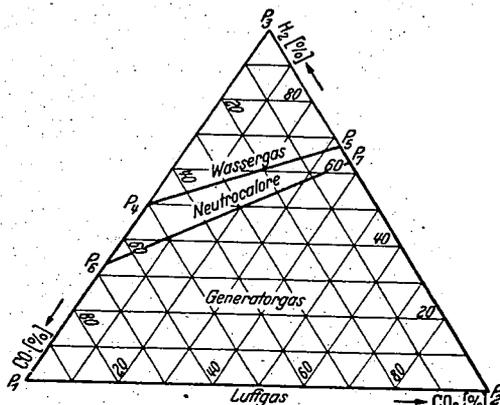
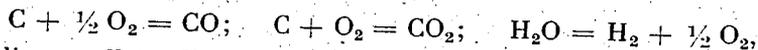


Abb. 4. Vergasungsdreieck nach Koelsch.

In etwas anderer Auffassung als Wa. Ostwald bringt Koelsch<sup>2)</sup> rechnerische und graphische Betrachtungen über die Reaktionsgleichungen der Generatorgasbildung, ebenfalls auf ideales Generatorgas bezogen.

Koelsch geht nicht, wie Ostwald, von den obenerwähnten 3 Reaktionen des Kohlenstoffs aus, sondern wählt zur Darstellung im Dreieckskoordinatensystem die 3 Reaktionen



also die unvollständige und vollständige C-Oxydation und die Wasserspaltung. Da die erhaltenen Mengen  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  dem Anteil der Teilreaktionen an der Hauptreaktion entsprechen, ist die zeichnerische Darstellung besonders übersichtlich und leicht anwendbar (Abb. 4), indem die %-Sätze der Analyse unmittelbar abzugreifen sind. — Weiter betrachtet Koelsch rechnerisch auch die Bildung von Generatorgasen, die Kohlenwasserstoffe enthalten, während die vorgenannten Ausführungen sich nur auf  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  bezogen.

<sup>1)</sup> Dawidowski, Feuerungstechnik 25 (1937), S. 183.

<sup>2)</sup> Koelsch, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 195.

In einer weiteren Arbeit<sup>1)</sup> dehnt Koelsch diese Berechnungen außer auf C als Ausgangsstoff auch auf Brennstoffe aus, die aus C, H und O bestehen, ferner auf Generatorgase, die außer CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und zugehörigem N<sub>2</sub> noch CH<sub>4</sub> oder bzw. und C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> enthalten.

Außer diesen rein chemisch oder wärmetechnisch begründeten Vorgängen stehen die Vergasungsreaktionen aber noch unter physikalischen Einflüssen; als solche sind insbesondere Strömungsvorgänge, Strömungsgeschwindigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und Berührungsdauer zu nennen. Obwohl Einflüsse dieser Art empirisch bereits mehrfach berücksichtigt oder gesucht worden sind, wurde doch erst in neuerer Zeit in der Literatur auf diese Fragen hingewiesen und zahlreiche, auf diesem Gebiet noch ungelöste oder noch nicht genügend geklärte Probleme aufgezeigt, deren gründliche Erforschung notwendig ist.

Systematische Betrachtungen über den Strömungswiderstand ruhender Schüttungen stellt Fehling an<sup>2)</sup>. Er stellt fest, daß die Erhöhung des Druckwiderstandes in der Schüttung als Folge der Veränderung des Strömungsfeldes durch die im Luftstrom auftretenden Strömungswiderstände zu betrachten ist. Während der Widerstand gleichgeformter Einzelkörper nach Newtons »quadratischem Widerstandsgesetz« (Widerstand proportional der Staufläche und dem Staudruck) sowie der Einfluß der Reynoldsschen Zahl auf den Widerstandsbeiwert einfacher Körper bekannt ist, sind über die Abhängigkeit von der Kornform und den Einfluß der Oberflächenrauigkeit keine Unterlagen vorhanden. Weiter ist die Art der Schüttung von großem Einfluß. Diese hängt einerseits ab von der »Siebkennlinie«, d. h. der kurvenmäßigen Darstellung der Siebanalyse des geschütteten Stoffes, andererseits von dem »Siebsprung«, d. h. der Entfernung der oberen und unteren Korngrenzgrößen. Es ist offensichtlich, daß sich 2 Körnungen von gleichem Siebsprung, aber sehr abweichender Siebkennlinie in der Schüttung sehr verschieden verhalten müssen, z. B. eine Sortierung 0—30 mm, die einmal aus 30% 0—10, 50% 10—20 und 20% 20—30 mm, zum anderen aus 10% 0—10, 10% 10—20 und 80% 20—30 mm besteht. Geometrisch betrachtet, erschwert auch die unregelmäßige, praktisch nicht zu klassierende Form der Brennstoffstücke und die Verschiedenheit ihrer Lage zur Strömungsrichtung die theoretische Erfassung, ferner die Art der Packung, die sich zwar im Einzelversuch regeln läßt, im praktischen Betrieb aber ganz von den gegebenen Eigenschaften des Stoffes und dem Vorgang der Schüttung abhängig ist.

Dieser Schüttungsvorgang, dem man dennoch eine für den Generatorbetrieb entscheidende Bedeutung beimessen muß, resultiert, statisch betrachtet, einerseits aus der gerichteten Transportbewegung des in den Gaserzeuger eingebrachten Brennstoffes, andererseits aus einer nicht ge-

<sup>1)</sup> Koelsch, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 282.

<sup>2)</sup> Fehling, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 33.

richteten inneren Bewegung der Einzelkörner unter dem Einfluß von Schwerkraft, gegenseitiger Reibung, Kornform, Kornverhältnis usw. Diese letztere innere Bewegung kann je nach Voraussetzungen zu einer Mischung oder Entmischung führen. Allerdings ist eine weitgehende Entmischung wohl nur dann zu erwarten, wenn sie in der gerichteten Fülltransportbewegung bereits eingeleitet war.

Fehling betrachtet es hiernach als aussichtslos, die Eigenschaften einer natürlichen Schüttung aus Modellversuchen mit regelmäßigen Körnern folgern zu wollen, vielmehr sollten sie höchstens betriebsversuchsmäßig gemessen werden. Als grundlegende Begriffe hierzu gibt er an das Lückenvolumen, die Lückenform und die Randausbildung.

Das Lückenvolumen kennzeichnet den verfügbaren Strömungsquerschnitt, die Lückenform die Gestalt des Strömungsweges und den Widerstand für die Einheit der Weglänge. Unter Randausbildung versteht er den Einfluß der Kornoberflächenrauigkeit auf die Randstörungen des einzelnen Strömungsweges. Nicht zu vernachlässigen ist aber hierbei der Unterschied dieser Randstörungen an den Körnern in der Mitte der Schüttung und an deren Außengrenze gegenüber dem Generatormantel.

Versuche Fehlings über das Lückenvolumen ergaben die interessante Feststellung, daß dieses oberhalb einer gewissen Korngröße (für Kohle 1,5—2 mm) einen annähernd konstanten Wert von 48—49% zeigt, von diesem Grenzwert abwärts dagegen ansteigt, weil der Kantendruck des Einzelkorns mit dem Quadrat der Korngröße abnimmt. Dadurch wird eine mit zunehmender Feinheit zunehmende Auflockerung der Schüttung erklärt. Ein Randeinfluß war bei den allerdings nur bis 3 mm Korngröße ausgeführten Versuchen nicht nachzuweisen.

Auf noch breiterer Grundlage entwickelt W. Gumz<sup>1)</sup> die Notwendigkeit physikalischer Erforschung der Vergasungstechnik. Er betont, daß der Stofftransport durch die Brennstoffsäule bestimmend ist für den zeitlichen Ablauf und für die Grenzleistungen der Vergasungsvorgänge.

An Vergasungsverfahren unterscheidet er die Vergasung von stückigem Brennstoff in ruhender Schicht, von Staub in der Schwebelage und als Zwischenform die Vergasung von feinkörnigem Brennstoff an der Stabilitätsgrenze.

Solange ausreichende Temperaturen in der Brennstoffsäule aufrechterhalten werden, tritt der Einfluß der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit nach seiner Ansicht stark zurück hinter den physikalischen Vorgängen. Wärmetechnisch betrachtet, sollte der Vergasungsvorgang so geleitet werden, daß alle entstehende Wärme weitestmöglich im Vergasungsprozeß selbst nutzbar gemacht wird. Selbstverständlich ist die Ausnutzung von Überschußwärme zur Dampferzeugung u. a. wirt-

<sup>1)</sup> W. Gumz, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 97.

schaftlich sehr wichtig, aber je unabhängiger ein Gaserzeuger von anderen Verbrauchsstellen ist, desto eher kann er eine Bestform der Wirtschaftlichkeit unter allen Umständen erreichen.

Für die Vergasung in ruhender Schicht hebt Gumz außer den von Fehling (s. oben) herausgestellten Aufgaben die Frage des Wärmeaustausches von ruhenden Schichten mit strömendem Medium hervor. Sie ist deshalb schwierig, weil die Größe der wärmeaustauschenden Fläche fehlt. Modellversuche können hierzu wohl einige Erkenntnisse geben, aber im Hinblick auf die im praktischen Falle vorhandenen Einflüsse von Ein- und Ausspülen von Feinkorn, von Blähen, Sintern und Schmelzen des Brennstoffs bzw. der Asche, die im Versuch nicht darstellbar sind, kann nur auf dem Großversuch aufgebaut werden, bei dem allerdings die Überdeckung verschiedener Einflüsse eine Erschwerung bedeutet.

Ein wichtiger Begriff ist die Relativgeschwindigkeit zwischen Vergasungsstoff und Brennstoff, weil davon der Stoffaustausch abhängt. Erhöhung der Schicht bei gleichzeitiger Vergrößerung des Schichtquerschnittes gibt u. U. trotz höherem Druckaufwand eine niedrigere Leistung wegen zu geringer Relativgeschwindigkeit. Allerdings wird die Gaswärme für Trocknung bzw. Schwelung dann besser ausgenutzt, auch der Staubanfall verringert. Zwischen beiden Richtungen ist daher ein günstigster Zustand zu suchen. Da der Wärmebedarf für Vortrocknung und Vorwärmung nicht allzu hoch ist und zu weitgehende Vorwärmung reaktionstechnisch sogar unerwünscht ist, sind der Schichterhöhung Grenzen gesetzt. Dagegen bestehen Möglichkeiten, durch Luftvorwärmung oder Dampfüberhitzung Wärme in den Vergasungsvorgang zurückzuführen, wodurch sowohl der Wirkungsgrad als auch die Leistung bei verringertem Raumbedarf gesteigert werden kann.

Einige dieser Gedanken sind bereits in der neuzeitlichen Entwicklung der Gaserzeugerbauarten verwirklicht. So erscheint die Tendenz, bei vergrößertem Querschnitt ohne starke Erhöhung der Brennstoffsäule mit höherem Winddruck, also größerer Strömungsgeschwindigkeit und dadurch bedingter breiterer Reaktionszone zu arbeiten.

Auch Gwosdz berichtet als neuere Erfahrung<sup>1)</sup>, daß die gebräuchlichen Steinkohlengeneratoren mit unzureichender Reaktionszone arbeiten und daß durch Erhöhung dieser Zone eine bessere Wasserdampfumsatzung und Kohlensäurereduktion gesichert werden könne. Außerdem führe der Hochschachtgaserzeuger mehr Wärme mit dem absinkenden Brennstoff wieder in die Reaktionszone zurück.

Gumz weist ferner darauf hin<sup>2)</sup>, daß die Kohle in den verschiedenen Verwendungsformen der Versuchs- und Betriebspraxis — als Graphit,

<sup>1)</sup> Gwosdz, Feuerungstechnik 15 (1927), S. 52.

<sup>2)</sup> W. Gumz, Feuerungstechnik 26 (1938), S. 337.

als amorphe (aus Graphitsplittern verschiedenster Feinheit bestehende) Kohle oder als Koks (Schmelzfluß mit Graphiteinlagerungen) — eine sehr verschiedene Reaktionsfähigkeit zeigen muß und daß bei der Oxydation von C, von tiefen Temperaturen angefangen bis zu den höchsten, die verschiedensten, teils stabilen teils instabilen C-O-Verbindungen und Zwischenprodukte entstehen und sich wieder zersetzen, so daß sich kein durch eine einfache Gleichung darstellbarer Reaktionsverlauf einstellt.

Da es sich bei der C-Verbrennung durchweg um Oberflächenreaktionen handelt, müßten für deren Durchführung 2 Bedingungen erfüllt

sein, erstens eine möglichst große, an die Gasphase unmittelbar angrenzende Oberfläche, zweitens in der Gasphase ständiger  $O_2$ -Transport zu der Oberfläche und Abtransport der Reaktionsprodukte von der Oberfläche hinweg.

Beim Verbrennungsvorgang überlagern sich chemische Reaktionen und physikalische Strömungsvorgänge, die verschieden stark ineinandergreifen und schwer zu trennen sind. Durch Darstellung des reziproken Wertes der Reaktionsgeschwindigkeit, des Reaktionswiderstandes, gibt Gumz in Abb. 5 für eine bestimmte Staubkohle eine graphische Übersicht über diese Vorgänge in Abhängigkeit von der Temperatur. Bei sehr niedrigen Temperaturen ist die chemische Reaktionsfähigkeit nahe Null, also der chemische Reaktionswiderstand annähernd unendlich groß. Der physikalische Widerstand ist verhältnismäßig wenig von der Temperatur

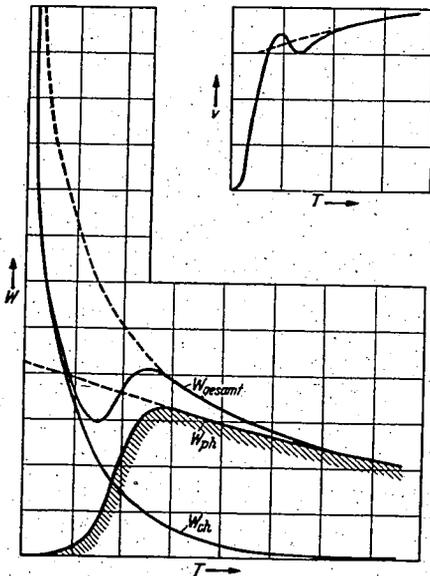


Abb. 5. Darstellung des chemischen ( $W_{oh}$ ) und des physikalischen ( $W_{ph}$ ) Widerstandes und des addierten Gesamtwiderstandes in Abhängigkeit von der Temperatur. Rechts oben: Reaktionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur.

abhängig. Die Summe beider Widerstände gibt die Kurve des Gesamtwiderstandes ( $W_{ges}$ ) und daraus den reziproken Wert, die gesamte Reaktionsgeschwindigkeit. Es ist ersichtlich, daß im Gebiet der hohen Temperaturen die physikalischen Widerstände gegenüber den verschwindend geringen chemischen Widerständen stark überwiegen, also eine starke Ausbildung der physikalischen Vorgänge dann bestimmend für die Geschwindigkeit der Reaktion wird. — Für die Forschung ist es wichtig, die chemischen und physikalischen Vorgänge möglichst zu isolieren, um ihre Wirkung und Größenordnung zu erkennen.



von Horak<sup>1)</sup>, die an einem Hochdruck-Röhrenkesselgenerator von 3 m l. W. (Bauart Marischka) in Wien durchgeführt wurden. Einen Überblick über diese Versuche gibt Abb. 6. Neben dem die Generatorbauart und die Schichtung seines Inhaltes, sowie die Meßstellen zeigenden Halbschnitt des Gaserzeugers sind die den betreffenden Meßstellen entsprechenden Temperaturen, Gaszusammensetzungen und Heizwerte graphisch aufgezeichnet. Müller und Graf betrachten insbesondere die für diese Prozesse maßgebenden Gleichgewichte der Wassergasbildung, des Wassergasgleichgewichtes und des Boudouardschen Gleichgewichtes, deren Wärmetönungen sie in kcal/kmol rechnen, und prüfen am Zusammenhang zwischen der dem Gleichgewicht entsprechenden Temperatur und der im Betrieb gemessenen Temperatur und Gaszusammensetzung, ob diese Gleichgewichte erreicht wurden. Wie erwähnt, stellten sie fest — übrigens in Übereinstimmung mit anderen Bearbeitern (Clement, Adams und Hopkins, University of Illinois 1909) —, daß trotz stellenweiser Überschreitung der Gleichgewichtstemperaturen in keiner Reaktionszonenlage eines dieser Gleichgewichte erreicht wird. Die Hauptumsetzungen erfolgen in der ersten heißen Schicht oberhalb der Schlackengrenze, die etwa 20 cm hoch ist. Etwa in halber Höhe der Brennstoffsäule ist die Gasumsetzung praktisch abgeschlossen und die darüberliegenden Schichten dienen nur der Vorwärmung und Trocknung. Weiter wird auch hier festgestellt, daß die öfter gebrachte Annahme einer stufenweise aufeinanderfolgenden Verbrennung des Kohlenstoffs und einer Reduktion zu CO nach den praktischen Versuchsergebnissen nicht möglich ist, vielmehr dürfte sofort eine Verbrennung zu einem Gemisch von CO<sub>2</sub> und CO erfolgen, dessen CO<sub>2</sub>-Gehalt sich auf dem weiteren Wege teilweise mit weiterem Kohlenstoff zu CO umsetzt.

Auch diese Versuche bestätigen einige vorher erwähnte Theorien, z. B. daß bei der geringen Beteiligung der höheren Brennstofflagen eine Erhöhung der Brennstoffsäule bei sonst gleichen Bedingungen wertlos ist, daß hingegen eine Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit in der Reaktionszone diese verbreitern (erhöhen) und dadurch die Leistung des Gaserzeugers steigern kann.

Über ähnliche englische Versuche an einem Anthrazitgenerator durch Gasprobenahme mit wassergekühlten Röhren und Temperaturmessungen berichten Haslam, Mackie und Reed<sup>2)</sup>. Sie stellten fest, daß mit steigendem Feuerungsgrad (Windverstärkung) der Heizwert und der Dampfzersetzungsgrad zunahm, infolge Erhöhung der Temperatur der primären Reduktionszone; der Gehalt an CO und H<sub>2</sub> wuchs. Dagegen wurde die Höhenlage der Oxydations- und Reduktionszone durch die Höhe des Kohlenbettes nicht geändert. — Vergleichsversuche mit steigendem Verhältnis Dampf/Kohle bei gleicher Höhe des Kohlenbettes

<sup>1)</sup> Horak, Zeitschr. Öst. Ver. G.- u. W.-Fachm. 73 (1933), S. 170.

<sup>2)</sup> Haslam, Mackie u. Reed, Ind. Eng. Chem. 19 (1927), S. 119, 141.

und gleichbleibendem Feuerungsgrad zeigten eine Zunahme des Gasheizwertes bei Dampfanzusatz bis zu einem Höchstwert, dann naturgemäß wieder einen Abfall. Bei 0,9 m Kohlenbettiefe und einer Belastung des Generators mit 195 kg/m<sup>2</sup>/h betrug dieser Bestwert 0,7—0,8 kg Dampf/kg Kohle. Mit steigender Generatorbelastung wächst dieser Höchstwert.

Auf den Einfluß des Generator-Schachtdurchmessers auf die Gasbildung ist noch zurückzukommen (vgl. Generatorbauarten, S. 31).

Bei Vergasung nasser Brennstoffe (tschechischer Rohbraunkohlen) wurde, wie R. Czerny berichtet<sup>1)</sup>, der Gaserzeugergang vorteilhaft beeinflusst durch einen Teilkreisstrom des erzeugten Generatorgases. Dieser vom Gasabgang abgezweigte Teilstrom wurde, nach Entteerung, Entstaubung und Entwässerung, mittels Abfallkohlebeheizung stark überhitzt und dem Generator zwischen Ende der Entgasungs- und Anfang der Vergasungszone wieder zugeführt. Dadurch, daß dieses Heißgas den nassen Brennstoff stärker abtrocknet und vorwärmt, als es mit dem erzeugten Gas allein möglich wäre, wird der Vergasungsprozeß so weitgehend gefördert, als ob eine hochwertige Kohle vergast würde.

Die Möglichkeit, die Reaktion im Generator durch dem Brennstoff beigegebene Katalysatoren zu beeinflussen oder zwecks Durchsatzsteigerung zu fördern, bespricht Kröger<sup>2)</sup> und erklärt anorganische Stoffe, besonders Metalloxyde und einige Karbonate für geeignet. Für Erzeugung von billigem Generatorgas kann aber eine Wirtschaftlichkeit solcher Zusätze nicht ohne weiteres erwartet werden.

Dagegen ist die Luftvorwärmung eine Maßnahme, die noch wenig angewandt wird, aber nach Neumann<sup>3)</sup> in Zukunft größere Bedeutung erlangen kann. Sie ist ebenso geeignet, durch Erhöhung des Wärmeinhalts des Brennstoffbettes die Reaktionszone zu verstärken — wobei natürlich gewisse Grenzen einzuhalten sind hinsichtlich Schlackenverschmelzung — wie auch bei nasser Rohkohle eine Abschreckung der Reaktionszone durch zu kalt ankommenden Brennstoff zu vermeiden. Der letztere Effekt ist derselbe wie bei der oben erwähnten Kreislauführung von überhitztem Generatorgas.

Eine Anreicherung des Unterwindes mit Sauerstoff, die wiederholt vorgeschlagen, aber praktisch wohl noch nicht durchgeführt wurde, hat nach G. Neumann<sup>3)</sup> theoretisch große Vorteile. Wirkungsgrad und Heizwert steigen. Die durch die schärfere Reaktion steigende Generator-temperatur würde einen erhöhten Dampfzusatz notwendig machen. Das Generatorgas unterscheidet sich dann vom normalen durch höheren H<sub>2</sub>-Gehalt und geringeren N<sub>2</sub>-Gehalt. Die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens

<sup>1)</sup> R. Czerny, Feuerungstechnik 15 (1926—27), S. 337.

<sup>2)</sup> Kröger, Z. angew. Chem. 52 (1939), S. 129.

<sup>3)</sup> G. Neumann, Mitt. 101 d. Wärmest. Ddf. d. Ver. D. Eisenh.-L. 1927.

hängt natürlich allein vom Sauerstoffpreis ab bzw. von den je 1000 kcal tragbaren Sauerstoffkosten.

Der Dampfzusatz zum Generator hat bekanntlich den doppelten Zweck der Erhöhung des Wirkungsgrades und der kühlenden Gegenreaktion, also auch der Schlacken Kühlung. Der gleiche Kühlerfolg kann auch durch Zusatz kohlenäurerreicher Gase erreicht werden<sup>1)</sup>. Reine Kohlensäure würde hinsichtlich der kühlenden Reaktion im Brennstoff theoretisch die gleiche Wirkung haben wie Dampf; das Gas enthielte dann mehr CO und weniger H<sub>2</sub> und die Verbrennungsgase dieses veränderten Gases entsprechend weniger Wasserdampf.

Bei Abgasen, die nur etwa 18% CO<sub>2</sub> enthalten, müßte die vierfache Menge an Abgas als an Dampf genommen werden, dadurch würde das Generatorgas reicher an N<sub>2</sub>. Günstiger ist deshalb die Verwendung von Hochofengas mit 30% CO, 3% H<sub>2</sub>, 6% CO<sub>2</sub>, weil es relativ weniger Ballast mitbringt als das keinerlei Brenngas enthaltende Rauchgas. Über Betriebsversuche mit Hochofengaszusatz an einem Generator von 3 m Dmr. bei der Illinois Steel Co berichtet Dermott<sup>2)</sup>.

#### b) Brennstoffe für die Generatorgaserzeugung.

Im Generator zu vergasen ist grundsätzlich jeder nicht backende Brennstoff. Die Wahl unter möglichen Vergasungsrohstoffen kann einerseits örtlich entschieden werden nach der mengenmäßig oder preislich günstigen Beschaffungsmöglichkeit, andererseits nach der vergasungstechnischen Eignung, also insbesondere nach der Reaktionsfähigkeit, daneben noch nach Art und Menge der Asche. Hinsichtlich Reaktionsfähigkeit stellten K. Bunte und A. Gießen<sup>3)</sup> durch Versuche nachstehende Reihenfolge der üblichen Vergasungsstoffe (mit stärkster Reaktionsfähigkeit beginnend) auf, die für Wassergashildung ermittelt wurde, aber sinngemäß auch für Halbwassergaserzeugung gilt; Grude naß gelöscht — Holzkohle — Grude trocken gelöscht — Halbkoks — Gaskoks naß gelöscht — Gaskoks trocken gekühlt — Zechenkoks.

A. Jäppelt und A. Steinmann<sup>4)</sup> geben im gleichen Sinne die Reihe: Braunkohlenschwelkoks — Steinkohlenschwelkoks — Steinkohlenhochtemperaturkoks an, betonen aber daneben, daß praktisch ein stückiger Steinkohlenschwelkoks einem feinkörnigen Braunkohlenschwelkoks trotz des Unterschiedes der Reaktionsfähigkeit überlegen ist.

C. Kröger<sup>5)</sup> ordnet die Reihe: Holzkohle — Braunkohlenschwelkoks — Ruß — Steinkohlenschwelkoks — Graphit — Steinkohlenkoks.

<sup>1)</sup> G. Neumann, Mitt. 102 d. Wärmest. Ddf. d. Ver. D. Eisenh.-L. 1927.

<sup>2)</sup> Dermott, Iron Steel Eng. 2 (1925), S. 269.

<sup>3)</sup> K. Bunte u. A. Gießen, Gas- u. Wasserfach 73 (1930), S. 241.

<sup>4)</sup> A. Jäppelt u. A. Steinmann, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 346.

<sup>5)</sup> C. Kröger, Zeitschr. ang. Chemie 52 (1939), S. 129/139; Brennst.-Chemie 19 (1938), S. 157/257.

Diese grundsätzlich vollkommen übereinstimmenden Reihen umfassen also alle entgasten und teerfrei gemachten Brennstoffe. Außer der Reaktionsfähigkeit ist, wie an einem Beispiel (s. oben) bereits erwähnt, auch die Körnung sehr betriebswichtig und infolgedessen bemühen sich in immer mehr hervortretendem Maße einerseits die erzeugenden Verfahren, möglichst stückige Schmelkokse usw. zu erzeugen, andererseits die Gaserzeugerbaufirmen, auch minderwertigere, daher billigere Körnungen wirtschaftlich zu vergasen. Der letztere Weg führt bei Grude und Schmelkoksen schließlich zur Schwebevergasung, bei feinkörnigem Hochtemperaturkoks zu für diese Körnungen und ihrem im allgemeinen höheren Aschegehalt speziell ausgebildeten Gaserzeugerbauarten, wobei die Besonderheiten bei dem Rost, der Schachtabmessung und -ausbildung oder der Brennstoffzufuhr liegen (s. das.). Es konnten infolgedessen schon Kleinkoksgemische (0—20 mm) mit Grusgehalten von 25 bis über 30% 0—10 mm in der Siebanalyse verarbeitet werden. Der Durchsatz geht natürlich gegenüber gröberer Körnung dabei merklich zurück. Die Vergasung ist stets um so schwieriger, je größer der Aschegehalt ist.

Die oben gezeigte Reihenfolge der Reaktionsfähigkeit der Koks, Gaskoks bis Zechenkoks, stimmt heute nicht mehr unbedingt, da viele Gaswerke einen gegenüber dem früher üblichen Gaskoks reaktionsträgern Koks erzeugen und andererseits Kokereien, die nicht auf Gießereikoks arbeiten, auch wesentlich reaktionsfähigere Koksarten auf den Markt bringen.

Bei den Steinkohlen- und Braunkohlenschmelkoksen sind je nach Schmelofenbauart die verschiedensten Koksarten und Koksarten anzutreffen. Als für die Vergasung günstigste Sorten sind Steinkohlenschmelkformlinge und Hartschmelkoks von Braunkohlenkleinbriketts zu bezeichnen, denen auch noch Anteile kleinerer Körnungen in begrenztem Umfange beigemischt werden können.

Holzkohle wird, schon wegen ihres hohen Preises und wegen Beschaffungsschwierigkeiten, in Großgeneratoren im allgemeinen nicht verwendet, häufig aber in Fahrzeuggeneratoren, für die sie einen idealen Brennstoff darstellt.

Außer den entgasten Brennstoffen sind auch nicht entgaste für den Gaserzeugerbetrieb brauchbar; zu unterscheiden sind a) praktisch teerfreie, b) teerhaltige Brennstoffe. Zu ersteren gehören Anthrazite und diesen nahestehende magere Esskohlen. Anthrazitvergasung ist vor allem in der Hüttenindustrie stark verbreitet, teils standortbedingt, teils wegen des mit Anthrazit erreichbaren, etwas höheren Heizwertes, der für Glühprozesse von Bedeutung sein kann. Auch in England und Amerika ist der Anthrazitgenerator sehr viel in Gebrauch<sup>1)</sup>. — Als teerhaltige Brenn-

<sup>1)</sup> A. B. Cernishov, Bull. Acad. Sci. USSR, 1938, S. 81; Feuerungstechnik 27 (1938), S. 24.

stoffe sind Steinkohle, Braunkohle, Braunkohlenbriketts, Torf und Holz zu nennen. Der Teergehalt erfordert im allgemeinen eine besondere Teerscheidung. Die Teergewinnung nebst Brennstofftrocknung kann auch in einen auf den Generator aufgebauten Schwelschacht verlegt werden (vgl. Schwelgeneratoren, S. 112). Über Braunkohlenvergasung berichtet Faber<sup>1)</sup> mit dem Ergebnis, daß nur lignitstückige Förderkohle mit höchstens 40% Mulmgehalt verwendbar ist, vorausgesetzt, daß die Asche nach Menge und chemischer Zusammensetzung und Schmelzpunkt keine Schwierigkeiten bereitet. Für Deutz-Gaserzeuger wird bei lignitischer Rohbraunkohle ein Aschegehalt von nicht über 10% bei mindestens 1150° Ascheschmelzpunkt gefordert; Wassergehalt wird bis zu 50% zugelassen. Als Anhaltspunkt bei verschiedenen Wasser- und Aschegehalten wird auch die Angabe des Verhältnisses Asche zu fixem Kohlenstoff erwähnt, das nicht größer als 1:3 sein soll.

Braunkohlenbriketts sind, vor allem seit deren Herstellung in neuerer Zeit Fortschritte hinsichtlich der Festigkeit (Standfestigkeit im Feuer) gemacht hat, viel verbreiteter und brauchbarer als Braunkohle. Ihre Feuchtigkeit kann bis 15% betragen.

Torfvergasung ist in verschiedener Form durchgeführt worden und in ihrer Wirtschaftlichkeit sehr umstritten. Die neuzeitlich verbesserte Torfaufbereitung läßt aber erwarten, daß mindestens bei standortgünstigen Anlagen die Torfvergasung mit Erfolg durchzuführen ist. Luftgetrockneter Stichtorf wird mit Wassergehalten bis 40% vergast, Preßtorf mit 20 bis 25% Wasser. Auch hier darf der Ascheschmelzpunkt nicht unter 1150° liegen. — Ein Großraumvergaser für Torf wurde auch in Italien entwickelt<sup>2)</sup>.

Vergasung backender Steinkohlen bereitet Schwierigkeiten, weil einerseits die Brennstoffsäule bei Erreichung der Verkokungstemperatur zum Hängen kommt infolge Bildung von Koksbrücken, andererseits dann die normale Gasentwicklung infolge Durchbruchs von Gaskaminen gestört wird. Gwosdz<sup>3)</sup> berichtet über einige Mittel, die die Verwendung backender Brennstoffe in Gaserzeugern ermöglichen sollen: Auftrag nur dünner Kohlenschichten auf bereits glühendes Brennstoffbett verhütet Koksbrücken, ist aber betrieblich nicht zuverlässig durchzuführen. Möglich ist gute Mischung von backendem mit nichtbackendem Brennstoff. Die in Amerika vielfach üblichen mechanischen Rührwerke mit wassergekühlten Armen haben sich in der dort gebrauchten Form teilweise auch in Deutschland eingeführt, wurden aber wegen viel Verschleiß und nicht durchweg befriedigender Arbeitsweise und viel Staubentwicklung oft abgelehnt. Eine verbesserte deutsche Bauart hat sich wegen ihrer tiefer greifenden Wirkung vielfach bewährt (vgl. S. 52). — Nach einem Ver-

<sup>1)</sup> Faber, Chem. Zentralbl. 1924, S. 2379.

<sup>2)</sup> A. Faber, Feuerungstechnik 1926, S. 189.

<sup>3)</sup> Gwosdz, Wärme 49 (1926), Nr. 5.

fahren von Ehrhardt und Sehmer kann der Steinkohle durch langsames Vorerhitzen auf  $450^{\circ}$  der Gehalt an Teerbildnern entzogen und dadurch ihre Backfähigkeit eingeschränkt werden. Nach dem gleichen Grundgedanken arbeitet das englische Verfahren nach Lynn mit einem über den Vergasungsschacht gestellten schlanken Schacht, in dem die Steinkohle unter ständigem Rühren mittels Rührwerk auf  $500^{\circ}$  vorerhitzt wird und ebenso der Gaserzeuger der Power Gas Corporation<sup>1)</sup>. Dieser hat eine hohe Brennstoffsäule und darüber angeordneten Schwelschacht mit genauer Temperaturreglung; der hochbemessene Vergasungsraum gibt eine günstige Voraussetzung für weitgehende Dampfersetzung und damit Vermeidung von Schlackenschwierigkeiten; der Generator soll sich deshalb im Betrieb gut bewährt haben.

In Deutschland ist jedoch die Steinkohlenvergasung im allgemeinen weniger angewandt worden und sollte künftig noch weniger in Betracht kommen, da entgaste Brennstoffe betrieblich und allgemeinwirtschaftlich vorzuziehen sind.

Über Vergasung von Holz, die im großen kaum vorkommen wird, ist später im Zusammenhang mit Sauggas- und Fahrzeuggeneratoren zu berichten (vgl. S. 90, 100).

### c) Gasbeschaffenheit.

Die Zusammensetzung von Generatorgasen ist im allgemeinen dadurch gekennzeichnet, daß die brennbaren Bestandteile  $\text{CO} + \text{H}_2$  etwa 40% betragen, der  $\text{CO}_2$ -Gehalt um 5% und der Stickstoffrest etwa 55%. Bei den reaktionsfähigeren Brennstoffen liegt die Summe  $\text{CO} + \text{H}_2$  etwas höher, der  $\text{N}_2$ -Gehalt entsprechend niedriger. Im einzelnen hat die Gasanalyse natürlich je nach der Beschaffenheit des vergasteten Brennstoffs verschiedene Abweichungen in engen Grenzen, wie nachstehende Übersicht von Generatorgasanalysen nach Literaturangaben und Betriebsversuchen zeigt (Zahlentafel 2, S. 24):

Diese Analysenbeispiele entsprechen normalem, gleichmäßigem Gaserzeugerbetrieb. Unregelmäßigkeiten, z. B. Verwerfung der Schlackenzone, Randfeuer und andere Einflüsse bewirken ein Ansteigen des Kohlen säuregehaltes; auch zu hoher Dampfzusatz steigert den  $\text{CO}_2$ - und zugleich den  $\text{H}_2$ -Gehalt.

## 2. Generatorenanlagen.

An die Stelle der Rostfeuerung, die die Brennstoffwärme nur ganz unmittelbar abgeben, fernerliegende Teile aber nicht in wirtschaftlicher Weise beheizen kann, trat nach dem Halbgenerator der Vollgenerator oder Schwachgaserzeuger. An der Entwicklung der Gaserzeuger sind besonders beteiligt die Hüttenindustrie und die Gasindustrie. Die Koke-reien, die zunächst grundsätzlich eigenen Starkgasüberschuß zur Be-

<sup>1)</sup> Brit. Pat. Beswick u. Rambush.

Zahlentafel 2.  
Zusammensetzung von Generatorgasen.

Brennstoff	Gaszusammensetzung in %					
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
Steinkohlenkoks 10—40 . . . . .	4,2	30,0	11,0	0	54,8	1200
» 5—40 . . . . .	4,6	29,5	10,9	0,2	54,8	1188
» 0—25 . . . . .	4,7	28,8	9,3	0,4	56,8	1146
» 0—25 (30% 0—10) . . . . .	5,4	27,3	11,1	0	56,2	1113
» 0—25 (36% 0—10) . . . . .	6,1	26,2	12,4	0	55,3	1113
» 0—25 mit Grus . . . . .	5,0	28,5	11,5	0,7	54,2	1225
Steinkohle . . . . .	3,0	30,7	13,5	2,2	50,6	1500
» . . . . .	4,5	26,1	11,7	2,4	55,3	1346
» . . . . .	3,5	27,4	11,8	2,7	54,6	1434
Gasflammkohle . . . . .	5,1	28,4	16,7	2,0	47,7	1415
Anthrazit . . . . .	4,0	27,5	12,0	0,4	56,1	1325
» . . . . .	4,2	28,5	15,7	1,0	50,6	1370
» Nuß IV . . . . .	3,7	28,3	11,3	0,3	56,0	1313
Steinkohlen-Schwelkoks . . . . .	5,0	29,2	13,5	1,2	51,1	1340
Rohbraunkohle . . . . .	9,1	17,7	17,9	5,8	49,5	1246
» . . . . .	11,0	20,0	20,0	2,3	46,7	1318
» . . . . .	7,5	26,2	12,0	1,1	53,2	1200
Braunkohlen-Knorpel . . . . .	2,5	30,7	13,3	3,7	49,8	1615
Braunkohlen-Briketts . . . . .	5,0	31,5	13,0	3,0	47,5	1450
» . . . . .	4,9	29,6	14,9	3,7	45,9	1625
Braunkohlen-Koks . . . . .	5,2	29,8	15,6	0,5	49,0	1350
Braunkohlen-Hartkoks + Grude 2 + 1 . . . . .	5,6	28,8	14,9	0,4	49,9	1304
» » + » 1 + 1 . . . . .	4,8	30,7	15,8	0,6	47,7	1402
Grudekoks körnig . . . . .	5,6	27,5	11,0	0,7	55,2	1190
Torf . . . . .	8,2	20,6	17,6	5,4	48,2	1148
» . . . . .	4,4	27,0	19,2	3,6	45,6	1660

heizung von Öfen und Kesseln verwandt, sind erst in neuerer Zeit unter dem Zwang der Rationalisierung dazu gekommen, Starkgas durch Schwächgas zu ersetzen und konnten bei der Erstellung großer Gaserzeugeranlagen auf bereits vorhandenen reichen Erfahrungen aufbauen.

Während in der Hüttenindustrie eine zwar vielseitige, aber vorwiegend empirische Entwicklung der Schwächgaserzeugung und -verwendung zu verzeichnen ist, gebührt der Gasindustrie ein wesentliches Verdienst, in reger Zusammenarbeit mit den Fachfirmen die Ausbildung des Gaserzeugers vom Einbaugenerator über den frei stehenden Festrostgenerator zum mechanischen oder Drehrostgenerator in allen Teilen technisch und wirtschaftlich und wissenschaftlich durchgeführt zu haben, so daß jetzt für alle Anforderungen und Leistungen gut ausgebildete Anlagen zur Verfügung stehen.

a) Festrostgeneratoren.

α) Einbaugeneratoren.

Zur Beheizung der Gaserzeugungsöfen in kleinen und mittleren Werken ist jetzt noch überwiegend der Einbau- oder Einzelgenerator

in Betrieb. Wie bereits unter »Beheizung der Vertikalöfen« eingehender besprochen<sup>1)</sup>, ist eine Grenzgröße der Betriebsmöglichkeit mit Einzel- bzw. Zentralgeneratoren nicht festzulegen. Die obere Grenze der Einzelgeneratoren wird mit 1,5 t oder mit 2,0 t Fassungsvermögen des Entgasungsraumes oder ähnlich angegeben; wichtiger für die Grenze ist die Werksgröße. Es gibt jedoch verhältnismäßig kleine Betriebe, die mit Zentralgenerator arbeiten und große, die den Einzelgenerator auch im Kammerofenbetrieb beibehalten. Ein Vorteil des Einzelgenerators ist vor allem die billige Bauweise, seine Unabhängigkeit von maschinellm Zubehör und die Einfachheit seiner Bedienung und Überwachung, außerdem ist sein Platzbedarf sehr gering. Wärmetechnisch ist bei ihm die Ausnutzung der fühlbaren Gaswärme im Ofen hervorzuheben, der allerdings, wenn keine Abhitzeverwertung eingerichtet ist, ein hoher Abhitzeverlust gegenübersteht, da die Abwärme durch die Vorwärmung der Verbrennungsluft allein gar nicht voll ausgenutzt werden kann. Als Nachteil ist die schwere Schlackearbeit und die Flugstaubverschmelzung in den Heizkanälen zu erwähnen, während beim Zentralgenerator durch die Verhütung von Flugstaub die Lebensdauer der Entgasungsöfen bis auf das Mehrfache erhöht wird<sup>2)</sup>. Weiter ist bei dem Einbaugenerator der Verlust an Brennbarem in der Schlacke höher und die Brennstoffbeschaffenheit muß sorgfältiger ausgewählt und sortiert sein als beim Zentralgenerator, weil der Widerstand der Brennstoffsäule gegenüber dem vorhandenen Ofenzug nicht zu stark werden darf. Immerhin sind gegenüber dem früheren Zwang, nur grobe Koksarten zu verarbeiten, in neuerer Zeit auch Sonderbauarten bewährt, in denen Kleinkoks und u. U. selbst Grus mit verarbeitet werden kann<sup>3)</sup>.

An systematischen Versuchen über die Arbeitsweise von Einzelgeneratoren und die an ihren Betrieb zu stellenden Anforderungen sind außer den grundlegenden Untersuchungen von Hans Bunte die Arbeiten von E. Terres und Mitarbeitern<sup>4)</sup> hervorzuheben. Insbesondere wird auf die in Abb. 7 gezeigten Feststellungen über die Gasbeschaffenheit

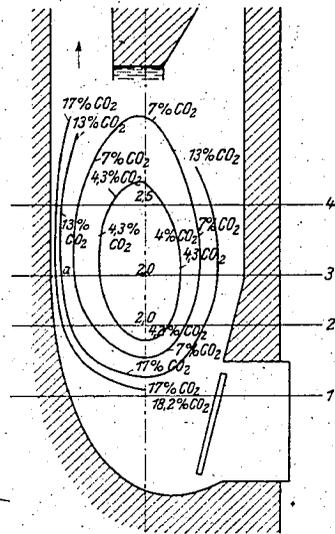


Abb. 7. Zonen im Generatorschacht (Einbaugenerator).

<sup>1)</sup> Handbuch d. Gasind. I, 5, S. 21.

<sup>2)</sup> Czako, Gas- u. Wasserfach 64 (1921), S. 609.

<sup>3)</sup> Handbuch d. Gasind. I, 5, S. 31.

<sup>4)</sup> E. Terres, Gas- u. Wasserfach 67 (1924), S. 255; 71 (1928), S. 1205.

in den verschiedenen Lagen der Generatorfüllung hingewiesen, durch die die alte Auffassung von der waagerechten Schichtung der Reaktionszonen abgelöst wird. Die Ergebnisse dieser Forschungen haben unmittelbaren Einfluß auf die konstruktive Weiterentwicklung der Einzelgeneratorbauarten im vergangenen Jahrzehnt gehabt. Hinsichtlich Ausbildung und Bauart des Einzelgeneratorschachtes, der Höhe des Brennstoffbettes und der für verschiedene Betriebsansprüche und Leistungen bewährten Formen des Rostes wird auf die genannten Ausführungen<sup>1)</sup> und die daselbst gebrachten Abbildungen verwiesen.

Auf die Rostform wurde mit Recht besonderer Wert gelegt, da sie für die Gleichmäßigkeit des Generatorbetriebes und damit der Gas-erzeugung, sowie für die Häufigkeit und Schwere der Bedienungsarbeit entscheidend ist. Angestrebt wurde dabei eine im Verhältnis zum Schachtquerschnitt möglichst große Rostfläche und eine im Verhältnis zur Rostfläche möglichst große und gut zugängliche Rostöffnung.

Folgende Grundbegriffe des Einzelgeneratorbetriebes seien nochmals genannt:

Mit zurückgehendem Zug fällt und mit zunehmendem Zug steigt der Koksverbrauch und die Leistung des Generators, der Kohlensäuregehalt des Generatorgases sowie die Abgastemperatur und damit der Abhitzeverlust. — Für Bildung eines guten Generatorgases ist eine Brennstoffschichthöhe von wenigstens 60—70 cm notwendig. Um das Gas bei längeren Schlackepausen nicht zu verschlechtern, wird besonders bei Einbaugeneratoren größerer Öfen dieses Mindestmaß auf das Doppelte und mehr erhöht, um auch bei anwachsender Schlacke noch die günstigste Brennstoffsäule zu haben.

Der Brennstoffdurchsatz betrug bei älteren kleinen Einbaugeneratoren um 40—50 kg/m<sup>2</sup>/h, wurde aber nach Terres' Beobachtungen auf über 80 und in neuzzeitlichen großen Einbaugeneratoren mit gut stückigem Koks bis zu 120 kg/m<sup>2</sup>/h gebracht.

Hinsichtlich der Betriebsweise der Einbaugeneratoren berichtet neuerdings Kossol<sup>2)</sup>, daß die Wasserberieselung des Rostes zum Zwecke der Rostkühlung und der Sättigung der Vergasungsluft als veraltet zu betrachten ist. Am vorteilhaftesten wird in einem abgetrennten kleineren Teil des Rekuperators die Generatorunterluft vorgewärmt und mit ebenfalls in der Rekuperation überhitztem Dampf bis möglichst auf die notwendige Sättigungstemperatur gebracht. Infolge der hierdurch gleichzeitig erreichten Volumenvergrößerung der Unterluft ergibt sich eine bessere Verteilung im Generatorschacht und damit gleichmäßigerer Generatorbetrieb und bessere Granulierung der Schlacke.

Im Gaswerkbetrieb ist der Einzelgenerator ein Teil des Ofenblocks und seine strahlende Wärme fließt zum größten Teil unmittelbar dem

<sup>1)</sup> Handb. d. Gasind. I, 5, S. 31.

<sup>2)</sup> Kossol, Gas- u. Wasserfach 82 (1939), S. 484.

Entgasungsöfen oder der beiderseits benachbarten Rekuperation zu. In anderen Industrien, besonders in der Hütten- und Eisenverarbeitenden Industrie, waren und sind kleine Festrostgeneratoren ebenfalls viel in Gebrauch<sup>1)</sup>. Den anderen Voraussetzungen entsprechend pflegen sie allerdings der Verwendungsstelle angebaut, aber noch grundsätzlich mit dieser als Einheit zusammengefaßt zu sein.

Eine häufig gebrauchte Ausführung eines solchen vorgebauten Generators für Glühöfen und ähnliche Bedarfsfälle mit nicht zu großer Einzelleistung ist der Heller-Generator (Abb. 8), ein kleiner Schachtgenerator von viereckigem Querschnitt mit einer Art Flachrost<sup>2)</sup>. Der Schacht ist nach unten verengt bis auf 0,5 m Dmr. in Höhe der Winddüsen, oben hat er etwa 1—1,5 m Dmr. und ist 2—3 m hoch. Er wird mit Gebläsewind und reichlichem Dampfzusatz betrieben, so daß keine Schlackenschwierigkeiten entstehen. Der Heller-Generator ist für Vergasung von Koks, Magerkohle und Braunkohle verwendet worden und hat nach Trenkler<sup>3)</sup> Leistungen von etwa 50 kg/m<sup>2</sup>/h erreicht, die für größere Verbrauchsstellen natürlich nicht ausreichen. Eine Aneinanderreihung mehrerer Heller-Generatoren zwecks Leistungssteigerung kann nicht als vorteilhafte Lösung angesehen werden; dafür sind größere Gaserzeugerbauarten vorzuziehen.

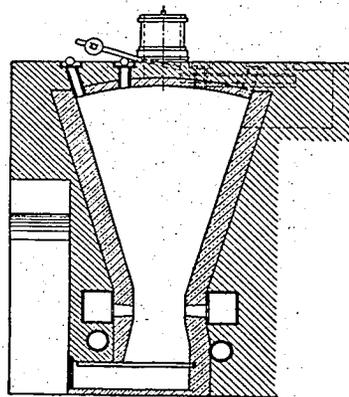


Abb. 8. Heller-Generator.

Hinsichtlich der Anwendung des Einbaugenerators in der Kokereiindustrie in England berichten Rambush und Townsend<sup>4)</sup>, daß wegen des hohen Verkaufswertes von Koks die Starkgasbeheizung bevorzugt bleibt. Mechanische Gaserzeuger sollen nur bei weitgehender Grusverwendung in Betracht kommen. In der Gasindustrie überwiegt noch der Einzelgenerator wegen seiner geringeren Anlagelkosten.

### *β) Frei stehende Festrostgeneratoren.*

Dieser bereits gekennzeichnete Übergang von eingebauten zum frei stehenden Generator vollzog sich auch in der Gasindustrie, weil es mit Zunahme der Kammergrößen, Kammerzahl und Temperaturen und damit der Durchsatzleistung immer schwerer wurde, einen Gaserzeuger der

<sup>1)</sup> Fr. Lüth, Stahl u. Eisen 1932, S. 1213; Mitt. 172 d. Wärmest. Düsseldorf.

<sup>2)</sup> De Grahl, Wirtsch. Verwertg. d. Brennst., München 1927.

<sup>3)</sup> Trenkler, Sparsame Wärmewirtschaft, DVI-Verlag Berlin 1921, S. 47.

<sup>4)</sup> N. E. Rambush and F. S. Townsend, Bericht 4/75 der 2. Weltkraftkonf., Gas- u. Wasserfach 74 (1931), S. 16 TR.

erforderlichen Größe nebst ebenfalls ausreichender Rekuperationsfläche im Ofenblock unterzubringen. Den ersten Schritt unternahmen die Wiener Gaswerke, indem sie etwa 1907 den Duff-Generator, einen vier-eckigen Festrostgaserzeuger mit Pultrrost, vor den Ofen setzten und ihn mit dem Ofen durch einen kurzen gemauerten Kanal verbanden<sup>1)</sup>.

Ein in der Hüttenindustrie viel angewandter gemauerter Festrost-generator war der Dachrostgaserzeuger von Siemens<sup>2)</sup>, ein Schachtofen mit länglichrundem Querschnitt 1600/1300 mm Dmr. Ein nur etwa  $\frac{1}{4}$  des Schachtquerschnittes einnehmender, in der Richtung des kürzeren Durchmessers liegender Dachrost diente der Verteilung der mittels Gebläse zugeführten Vergasungsluft. Dieser Gaserzeuger erreichte mit Braunkohlenbriketts einen Durchsatz von 80 kg/m<sup>2</sup>/h.

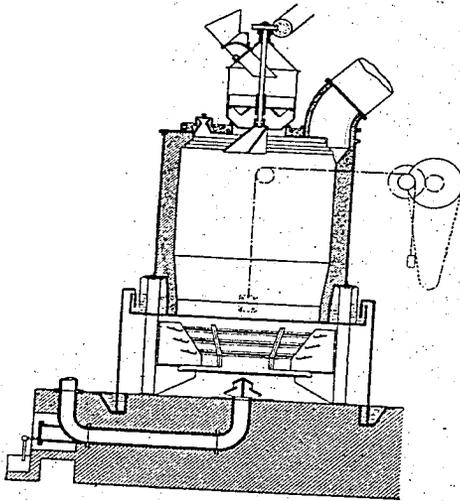


Abb. 9. Poetter-Polygonrost.

des Korbrostes. Da dieser Generator auch bereits mit Gebläsewind betrieben wurde, mußte der in Wassertauchungen beweglich eingesetzte Blechmantel dieser Schlacken-kammer beim Schlacken des Generators geöffnet und infolgedessen der Wind während der Schlackzeit abgestellt werden.

Um letztere Störung zu vermeiden, ging man bald beim Festrost-generator zur Wassertauchung über. Der Mantel des Generatorschachtes erhielt nur einen die Flucht der inneren Ausmauerung nach unten fortsetzenden und in eine ringförmige Schüssel eintauchenden sog. Tauch-

<sup>1)</sup> Marischka, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 826.

<sup>2)</sup> Mitt. Nr. 172 d. Wärmest. Düsseldorf d. D. Ver. d. Eisenh.-L. Abb. 1.

Neben diesem waren aber auch schon Generatoren entwickelt worden, die bereits zum zylindrischen Schacht übergangen und nicht mehr im ganzen gemauert waren, sondern aus einem Blechmantel mit feuerfester Ausmauerung bestanden. Die Rostausbildung lehnt sich zunächst an die vom Einbaugenerator bekannten Formen des Treppen- oder Korbrostes an, so z. B. ein Gaserzeuger von Poetter mit einem den Schacht unten abschließenden korb-förmigen sog. Polygonrost (Abb. 9), aus dem die Schlacke ringsum herauszuholen war. Die Windhaube auf dem unter der Bodenplatte endenden Windrohr dient in dieser Ausführung nur als Schutz, noch nicht als Teil des Rostes. Der Wind tritt nur rings seitlich durch die Spalten

ring. Die Schlacke konnte nun ohne Betriebsunterbrechung ringsum aus der Ringtasse herausgeholt werden. Einer der ersten dieser Generatoren mit Wasserabschluß und mit Gebläsewindzufuhr in der Mitte war der Morgan-Generator<sup>1)</sup>. Ähnlich gebaut, nur mit größerem Kegelrost, ist der Pintsch-Rundrostgenerator (Abb. 10).

Auch seitlich und in der Mitte wurde beim Festrostgaserzeuger die Luftzufuhr geleitet. Zu diesem Zweck wurde der Korbrost als Ring-

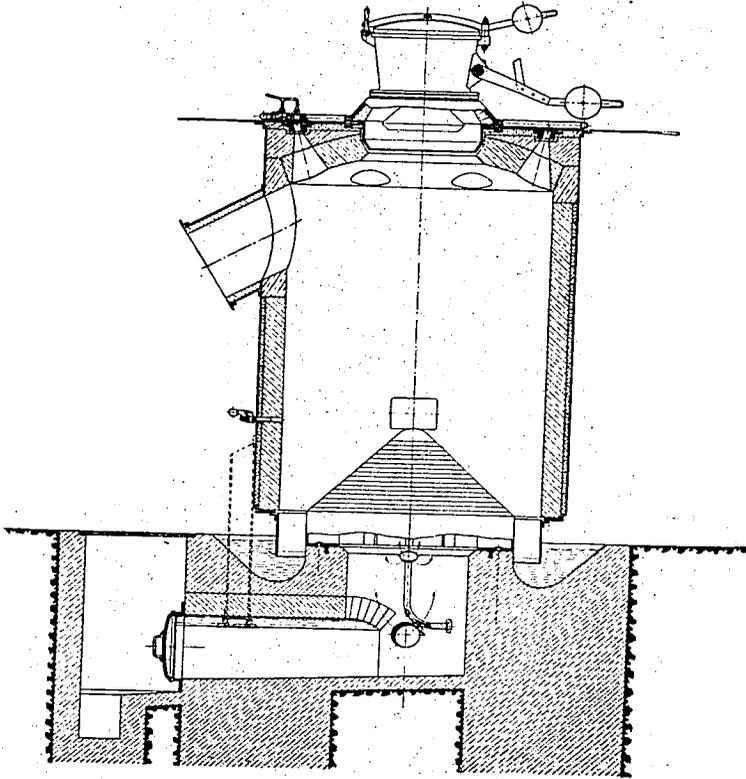


Abb. 10. Rundrostgenerator (Pintsch).

kammer mit Luftschlitzen nach innen umgebildet und das Windrohr erhielt nur eine kleinere Rosthaube. Diese bei größeren Generatoren gewählte Anordnung bezweckte ausreichende Luftverteilung über den ganzen vergrößerten Generatorquerschnitt.

<sup>1)</sup> de Grahl, Wirtsch. Verwertg. d. Brennst., München 1927, S. 179.

Der Lurgi-Festrostgenerator gibt dem seitlich beschickten Windringkanal eine der Schlackenböschung angepaßte Form mit voller Öffnung zum Generatorschacht (Abb. 11). Solche Bauart mit kleiner feststehender Windverteilungshaube inmitten der breiten Schlackenringtasse wird auch als »röstloser« Generator bezeichnet (Bamag). Meist

wird aber die Luftverteilung auf den ganzen Generatorquerschnitt erreicht durch Vergrößerung und geeignete Ausbildung des Mittelrostes.

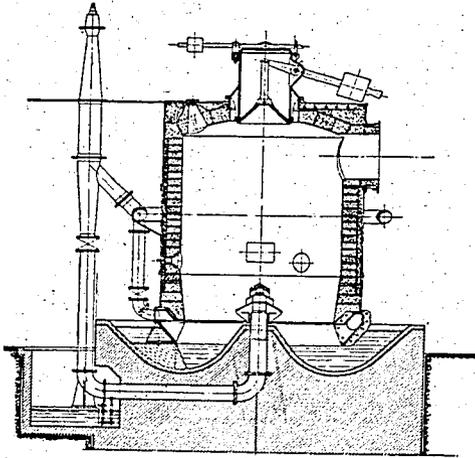


Abb. 11. Festrostgenerator (Lurgi).

b) Drehrostgeneratoren  
(Zentralgeneratoren).

α) Größenordnung von Drehrostgeneratoren.

Als Vorteile des Drehrostgenerators, die durch die vorangegangenen Entwicklungsstufen des Gaserzeugers teils gar nicht, teils nur unvollkommen erreicht wurden, sind folgende zusammenzufassen:

Gleichmäßige Windverteilung und damit gleichmäßige Beaufschlagung der ganzen Brennstoffschüttung und restlose Brennstoffausnutzung; gleichmäßige Schlackenausstragung und damit gleichmäßige Reaktionszone; gute Regelbarkeit der Windmenge und des Dampfzusatzes zum Wind; bei Wassermantel Dampfgewinnung für Eigenbedarf der Vergasung und als Überschuß.

Die Leistung eines Drehrostgenerators wird im allgemeinen nach dem Brennstoffdurchsatz in  $\text{kg/m}^2/\text{h}$  angegeben, unter Angabe der Brennstoffart. Theoretisch richtiger wäre die Bemessung nach Durchsatz von festem Kohlenstoff in  $\text{kg/m}^2/\text{h}$ , doch würde dieser Wert bei der Verschiedenheit der üblichen Brennstoffe nach Wasser- und Aschegehalt auch keine zuverlässige und praktisch brauchbare Vergleichsmöglichkeit geben.

Eine untere Grenze der Größe von Drehrostgeneratoren hinsichtlich Eignung und Wirtschaftlichkeit ist, wie erwähnt, nicht festzulegen. Bei der Wahl eines mechanischen Gaserzeugers darf aber die Wichtigkeit der maschinellen Einrichtungen nicht übersehen werden. Sie zwingt, besonders bei ununterbrochen gleichbelasteten Betrieben, zu ausreichender Reservehaltung und setzt Ersatzteile und Facharbeiter voraus. Daß demgegenüber die Vorteile der gleichmäßigen Gasbeschaffenheit, der vereinfachten Bedienung und der freieren Brennstoffauswahl praktisch

von größerer Bedeutung sind, beweist die Tatsache, daß sich schon Gaserzeuger sehr geringer Leistung in mechanisierter Ausführung bewährt haben.

Als kleinste Drehrostgeneratoren gibt W. Kirnich<sup>1)</sup> solche mit 0,8 m Schachtdurchmesser an, ferner 0,95 m, 1,3 m Dmr. Der 0,8-m-Generator setzt etwa 1 bis 1,2 t Koks täglich durch (Körting-Gaserzeuger). In neuerer Zeit ist aber die Grenze der Mechanisierung noch weiter gesenkt worden, insbesondere für Kleinkraftanlagen und Sauggasanlagen. So werden Deutz-Drehrostgaserzeuger bereits von 400 mm Schachtdurchmesser an gebaut, mit einem Durchsatz von etwa  $\frac{1}{4}$  t je Tag. Diese Kleingeneratoren kommen aber nur für kleine Einzelleistungen in Frage, bei größerem Bedarf sind mehrere Kleinanlagen dem Gaserzeuger mit breiterem Schacht unterlegen. Gaserzeuger größerer Leistung werden mit 1,5—3 m Schachtdurchmesser gebaut. 3 m ist im allgemeinen als bisher größter Schachtdurchmesser anzusehen; seine Überschreitung würde erhöhte Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Windverteilung und Schlackenaustragung bzw. an die Erhaltung einer gleichmäßigen Reaktionszone stellen. Größere Durchmesser sind nur in Einzelfällen angegeben, mit 3,2 m für den amerikanischen Wellmann-Generator<sup>2)</sup> und mit 5 m für den italienischen Ricci-Gozo-Großraumvergaser<sup>2)</sup>.

In größeren Betrieben am meisten üblich sind Drehrostgeneratoren von 1,6, 2,1, 2,6 und 3,0 m Schachtdurchmesser. Während vor einigen Jahren 2,1 m Dmr. weitاً bevorzugt wurde, sind in neuerer Zeit die größeren Durchmesser mehr in Gebrauch gekommen. Abgesehen von der in Großanlagen damit verbundenen Vereinfachung der Gesamteinrichtung sprach für den größeren Durchmesser der zunehmend geringere, also günstigere Randzonenanteil. Es ist bei Mantelkühlung nicht zu vermeiden, daß die durch den Mantel gekühlte Zone eine etwas ungünstigere Gleichgewichtslage für die Gasumsetzung gibt; auch strömungstechnisch ist die Gasbildung nachteilig beeinflusst durch den — zumal bei grober Körnung — freieren Gasweg zwischen Schüttung und Mantel. Abb. 12 zeigt das mit zunehmendem Durchmesser des

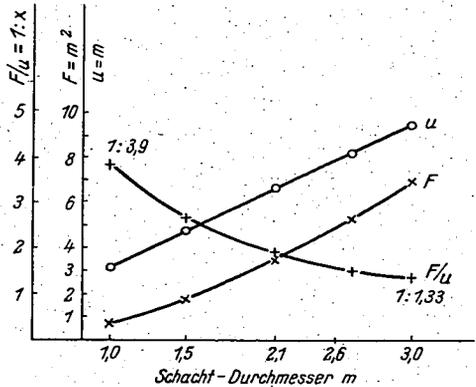


Abb. 12. Verhältnis Generatorquerschnitt zu Randzone.

<sup>1)</sup> W. Kirnich, Chem. Fabr. 5 (1932), S. 433; Gas- u. Wasserfach 76 (1933), S. 626.

<sup>2)</sup> Herboldt, Gas- u. Wasserfach 76 (1933), S. 112.

<sup>3)</sup> A. Faber, Feuerungstechnik 1926, S. 189.

Schachtes abnehmende Verhältnis Querschnitt/Umfang,  $F/U$ . Entsprechend diesem Verhältnis geht beim größeren Generator der Anteil an verschlechtertem Randzonengas zurück.

### *β) Der Generatorschacht.*

Ausgemauerte Generatoren. Der von oben bis unten ausgemauerte Blechmantelgenerator gilt zwar im allgemeinen als durch den Wassermantel- oder Dampfkesselgenerator überholt, hat aber noch in vielen Fällen technische und wirtschaftliche Berechtigung. Zunächst ist die gemauerte Ausführung bei Kleinanlagen in den Anlagekosten oft vorteilhafter. Aber auch bei größeren Anlagen (Abb. 13) genügt die Ausmauerung; wenn Brennstoffe mit wenig Aschegehalt und vor allem mit Asche von hohem Schmelzpunkt, also geringer Neigung zur Wandverschlackung durchgesetzt werden, ferner wenn bei Vorhandensein billigeren Betriebsdampfes aus anderen Anlagen an der Eigendampferzeugung in der Anlage kein Interesse besteht. Als Brennstoffe der genannten Eigenart sind vor allem lignitische Braunkohlen, auch Braunkohlenbriketts, ferner Torf und Holzabfälle zu nennen. Auch Anthrazite werden noch oft im ausgemauerten Schacht vergast.

Die Ausmauerung ist meist vollkommen zylindrisch wie bei den ausgemauerten Festrostgeneratoren. Dagegen hat der Schacht der amerikanischen Drehrostgaserzeuger nach Hughes<sup>1)</sup> und Wellmann<sup>2)</sup> nur im oberen Teil zylindrischen Mantel, das untere Drittel ist kegelförmig, um etwa 10% der lichten Weite scharf abgesetzt eingezogen (S. 49).

Auch der Großgaser nach Ricci Gozo<sup>3)</sup> hat einen Schacht, der aus einem oberen zylindrischen Teil und einem unteren, allerdings längeren und allmählicher verjüngten Kegelstumpf besteht.

Während sich die Ausmauerung bei nicht oder wenig verschlackenden Brennstoffen noch gut bewährt, wurde sie bei gasarmen, stark schlackenden Brennstoffen hauptsächlich wegen der betriebsstörenden Wandverschlackungen verlassen, die sowohl den laufenden Betrieb ungünstig beeinflussten, als auch große Betriebsunterbrechungen zur Neuausmauerung verursachten.

Diesen Nachteil des ausgemauerten Mantels suchte der Generator mit gekühltem Chamotttemantel zu vermeiden<sup>4)</sup>, bei dem in den Chamotttemantel Wasserkühlrohre eingemauert wurden. Diese in Königberg ausgeführte Bauart erreichte zwar, daß die Haltbarkeit des Mauerwerkes sich sehr besserte, sie ist aber sonst nur als Übergangslösung zu bewerten, die sich im Betrieb nicht weiter einfuhrte. Dagegen ist ein

<sup>1)</sup> Mitt. 71 (1925) d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütten-L., S. 291.

<sup>2)</sup> Herboldt, Gas- u. Wasserfach 76 (1933), S. 112; Engg. 119 (1925), S. 37.

<sup>3)</sup> A. Faber, Feuerungstechnik 1926, S. 189.

<sup>4)</sup> Gerhard, Gas- u. Wasserfach 68 (1925), S. 241.

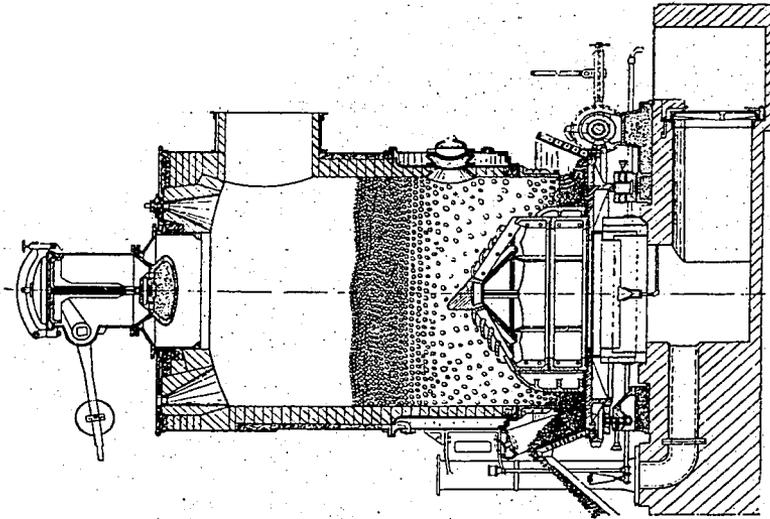


Abb. 14. Ausgemauertes Schlacht mit Kühlmantel (Hermag);

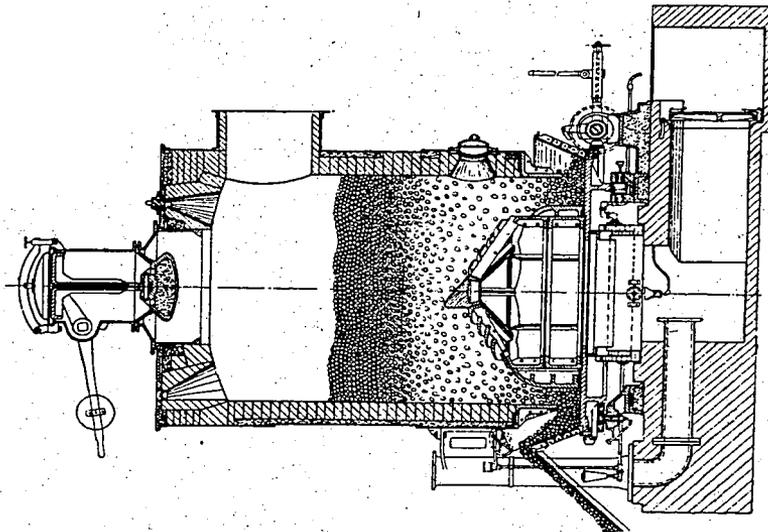


Abb. 13. Ausgemauertes Drehrosengenerator.

im unteren Teil außen mit einer schmalen Wasserkammer umkleideter ausgemauertes Generator (Bamag) (Abb. 14) auch weiter noch in Gebrauch.

In den übrigen Einrichtungen (Füllung, Austragung usw.) und in der Gesamtanordnung entsprechen die ausgemauerten Generatoren im wesentlichen den gleich großen Anlagen mit Mantelkessel.

Eine andere Form der Wasserkühlung hat ein von R. Möller gezeigter Hochleistungsgenerator für Braunkohlen oder Braunkohlenbriketts (Demag)<sup>1)</sup>. Der ausgemauerte zylindrische Schacht setzt sich unten in einen dem früheren

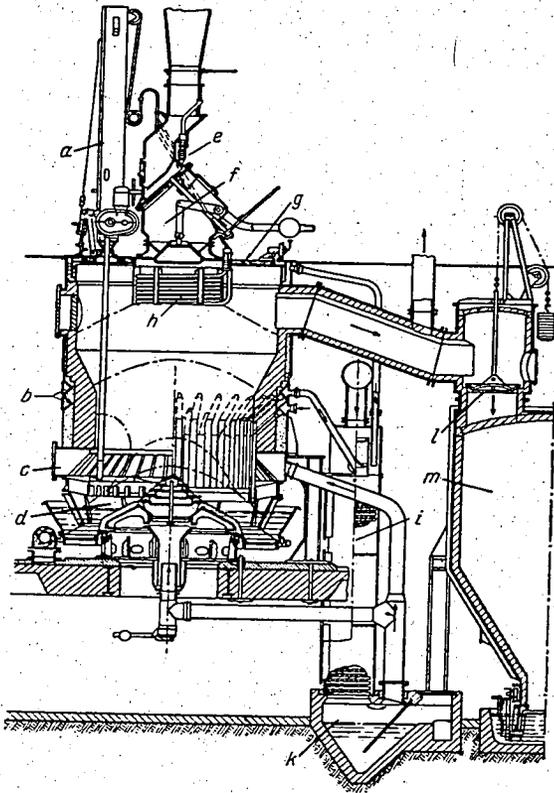


Abb. 15. Hochleistungsgaserzeuger. Schnitt durch Generator, Windsättiger und Staubvorlage.

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| a Stochapparat                     | m Drehplatte                               |
| c Wasserkammern                    | n Rohrschlange                             |
| d Luftkammern                      | w Windsättiger                             |
| f Aschezone                        | y Wassergrube                              |
| i zentrale Strom- und Wasserzufuhr | z <sub>1</sub> Schnellschlußventil         |
| k Fülltrichter                     | z <sub>2</sub> Staubsack und Sammelleitung |

unten in einen dem früheren Korbrost ähnlichen sog. Seitenrost fort (Abb. 15). Dieser besteht aus nebeneinandergestellten Siederohren, in denen das aus dem Gas in einem Röhrenkühler niedergeschlagene Schwelwasser erhitzt wird, möglichst auf 80° und mehr, worauf der Schwaden zum Sättigen des Unterwindes verwendet wird. Auf diese Weise wird Seitenrostkühlung und Schwelwasservernichtung vereinigt. Die höhere Temperatur hat bei dem als Destillat angefallenen, also kalkfreien Schwelwasser keinen Nachteil. Die Spalten zwischen diesen Rohren des Seitenrostes dienen auch der seitlichen Windzufuhr. Der Schacht ist im oberen Drittel nach außen konisch erweitert; es soll damit erreicht werden, daß die Randgase nochmals durch den Brennstoff gezwungen werden; allerdings liegt diese Zone oberhalb der Reaktionszone.

Generatoren mit Mantelkessel (Niederdruckkessel). Die als Doppelmantelgenerator oder Mantelkesselgenerator bezeichnete Bauform ist die betrieblich einfachste Bauart, die den Zweck erreicht, Schlackenverschmelzungen von gasarmen, asche-reichen Brennstoffen am Generatormantel zu vermeiden und dadurch

<sup>1)</sup> R. Möller, Zeitschr. VDI 81 (1937), S. 1167; Braunköhle 35 (1936), S. 417.

die Schlackarbeit zu vermindern oder praktisch ganz auszuschalten. Für Kleinkoks- und Grusvergasung ist daher der Wassermantelgenerator unerläßliche Voraussetzung<sup>1)</sup>.

Die ersten Versuche bzw. Betriebsausführungen, z. B. der Kerpely-Generator<sup>2)</sup>, benutzten zur Mantelkühlung Kaltwasser, das zur Vermeidung von Kesselsteinablagerung mit höchstens 50—60° abgeführt wurde. Diese Betriebsart hatte zwei Nachteile. Einerseits fiel das Warmwasser in Mengen an, die im allgemeinen betrieblich nicht zu verwerten waren, abgesehen davon, daß der Wasserverbrauch (nach Marischka) das Zehnfache als für Dampferzeugung betrug. Andererseits ergaben sich große Betriebsschwierigkeiten dadurch, daß an der gekühlten inneren Mantelfläche der Wasserdampfgehalt des Unterwindes sich teilweise niederschlug und in verhältnismäßig kurzer Zeit zu starken Korrosionen führte. Da neugebildeter Rost an diesen Flächen ständig wieder abgeschleudert wurde, konnte die Nachrostung ebenso fortschreiten.

Trotzdem wurde, wo genügend Warmwasserbedarf war, z. B. für Badezwecke, Gasbehälter-Bassinheizung u. dgl., auch versucht, unter Beibehaltung der Wasserkühlung die auftretenden Schäden zu vermindern.

So ersetzte Königsberg<sup>3)</sup> den schwer auswechselbaren Doppelmantelkessel durch eine größere Anzahl von Segmentkästen, zusammengehalten durch Zugstangen, die an zwischen den Segmentkästen eingesetzten Keilstücken befestigt wurden. Diese Anordnung ermöglichte Ersatzherstellung im Betrieb in geschweißter Ausführung, getrennte

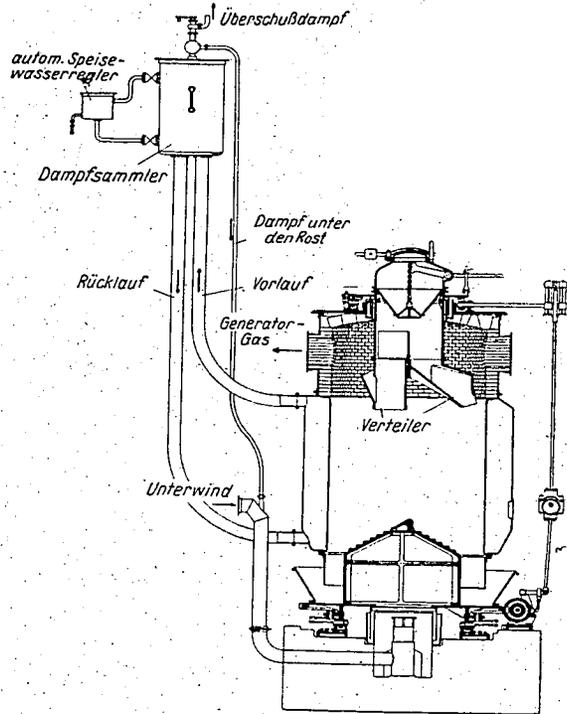


Abb. 16. Niederdruck-Dampfkesselgenerator (Koppers).

<sup>1)</sup> F. Lühl, Stahl u. Eisen 52 (1932), S. 1213.

<sup>2)</sup> De Grahl, Wirtsch. Verwertg. d. Brennst., München 1921, S. 181.

<sup>3)</sup> Gerhard, Gas- u. Wasserfach 68 (1925), S. 241.

Zuflußregelung, sowie Auswechseln jedes Segmentkastens einzeln ohne langwierige Betriebsunterbrechung und Montagekosten. Die durch diese geradlinig gearbeiteten Kästen bedingte Polygonform des Schachtes machte keine Schwierigkeiten.

Auf die Dauer konnte eine solche Lösung aber nicht befriedigen, da sie die Ursachen der Korrosion nicht beseitigte. Dies geschah erst durch die Erhöhung der Kühlmanteltemperatur auf über 100°.

Koppers entwickelte 1921 das Heißwasser-Umlaufverfahren<sup>1)</sup> (Abb. 16). Der meist mit 0,5 atü betriebene, daher nicht überwachungs-pflichtige Niederdruckkesselmantel hat ein mit dem obersten Kesselrand bündiges Heißwasser- bzw. Dampfableitungsrohr zum etwa 5 m über Kesseloberkante angeordneten Dampfsammler. Die Dampfbildung oder Entspannung erfolgt deshalb praktisch im Dampfsammler nach Überwindung der Wassersäule. Aus dem Dampfsammler wird der Dampf für den Unterwind und der Überschußdampf entnommen und das durch einen Speisewasserregler in den Dampfsammler eingespeiste, selbstverständlich enthärtete Zusatzwasser fließt mit dem Kesselwasser in einem Fallrohr zur Kesselunterkante, wo es, entgegengesetzt dem Abgangsrohr tangential eingeführt, eine Kreislaufbewegung des Wassers im Kesselmantel fördert.

Der Mantelkessel ersetzt meist nicht den ganzen Generatorschacht, sondern nur den unteren Teil, soweit Verhütung von Schlackenansätzen in Frage kommt und noch ein ausreichendes Wärmegefälle vom Schachtinhalt zum Kesselwasser vorhanden ist. Es finden sich aber doch auch die verschiedensten Kesselhöhen, die sich teils nur auf die engste Brennzzone erstrecken oder auch bis zur ganzen Höhe der Brennstoffschüttung oder des Schachtes ausgeführt werden<sup>2)</sup>.

Der Mantelkessel wurde anfangs nur mit schmalen Wandabstand, 150—200 mm, parallelwandig geführt, neuerdings bevorzugt man aber sehr den »begehbaren Kessel« mit der in Abb. 16 ersichtlichen ausgebuchteten Außenwand und 300—350 mm Wandabstand. Wegen der auch bei enthärtetem Wasser nicht immer vermeidbaren Schlammablagerung an den meistbeanspruchten Innenwandteilen ist die Möglichkeit, in Betriebspausen des Generators zum Ausspritzen und Ausschauern den Mantel befahren zu können, ein nicht zu unterschätzender Betriebsvorteil. Bei kleineren Wassermantelgeneratoren soll deshalb wenigstens durch reichliche Anordnung von Handlöchern oder Reinigungsstutzen für genügende Reinigungsmöglichkeit Sorge getragen werden. Bei Verwendung von nicht oder ungenügend enthärtetem Wasser, womit besonders bei Kleinbetrieben gerechnet werden muß, erhält die Kesselreinigung erhöhte Bedeutung. Für solche Fälle sieht u. a. eine Bauart

<sup>1)</sup> H. Koppers, DRP. 390 463.

<sup>2)</sup> F. Lüth, Stahl und Eisen 52 (1932), S. 1213.

(Deutz) die Anordnung der Wassermantelaußenwand als »Hemd« vor<sup>1)</sup>, die mit dem Deckel nach oben abgezogen werden kann und so den Innenmantel zur Reinigung freigibt.

Andere Ausführungen des Niederdruck-Dampfkesselmantels verwenden liegende Dampfsammler, die nur in Flurhöhe oder unter Flur angebracht werden, gegebenenfalls mit hochgezogenem Wasserstandsanzeiger (Abb. 17). Da hierbei der Kessel nicht unter Druck einer entsprechenden Wassersäule steht, muß im Kessel selbst oben ein Dampf-

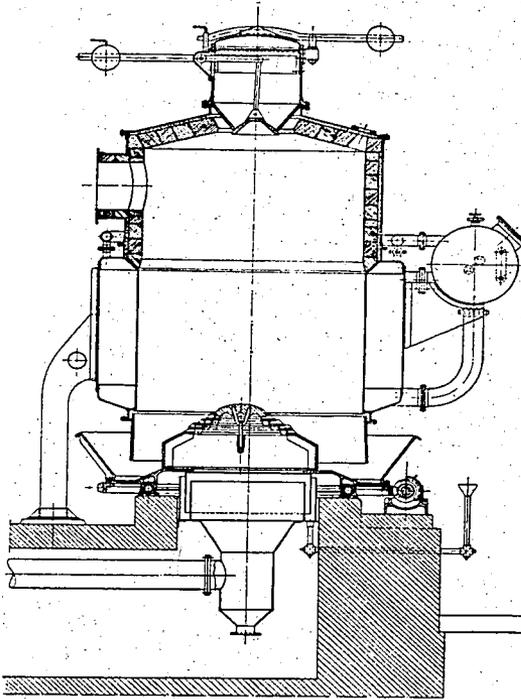


Abb. 17. Generator mit Niederdruck-Dampfkessel.

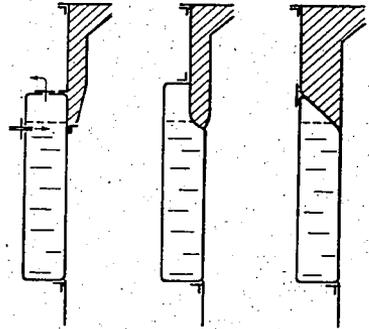


Abb. 18. Dampfsammelräume in Niederdruck-Dampfkesseln.

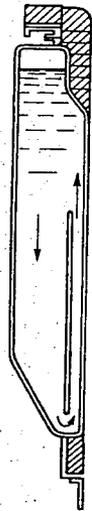


Abb. 19 (rechts).  
Wasserumlaufführung im  
Mantelkessel (Demag).

sammelraum (ringförmig um den ganzen Schacht) vorhanden sein, der den Feuergasen von der Innenseite nicht ausgesetzt ist. Dieser wird, wie in Abb. 18 an einigen schematischen Beispielen verschiedener Baufirmen gezeigt ist, entweder senkrecht hinter die innen übergreifende Ausmauerung verlegt oder die Ausmauerung steht auf einer Auskröpfung der Kesselinnenwand oder auf deren Abschragung nach außen. Weitere ähnliche Ausführungen sind an anderen

<sup>1)</sup> Mitt. 172. (1938) der Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütten-L.

Gaserzeugerabbildungen ersichtlich. Der Wasserumlauf im Niederdruck-Mantelkessel selbst dient bei dem Demag-Generator eine rings im Kessel senkrecht eingebaute Scheidewand, die dem Wasser oben und unten freien Durchtritt läßt. Das an der Schächtinnenwand siedende Kesselwasser steigt auf, gibt den Dampf in den Ringraum ab und fällt in dem äußeren Mantelumfang abwärts zur Wiederholung des Kreislaufes (Abb. 19, 30). Ein Boiler oder Oberkessel ist hierbei nicht erforderlich.

Kessel dieser Bauarten werden, wie erwähnt, als nicht genehmigungspflichtig mit 0,5 atü gebaut, bisweilen aber auch mit 2, 3 und mehr atü. Höhere Drucke erfordern unverhältnismäßig dicke Kesselwandungen.

Eine Ausführung des Poetter-Generators mit Niederdruck-Dampfmantel vermeidet die Ansammlung eines Dampfpolsters im Mantelkesseloberteil dadurch, daß der obere Kesselboden nicht waagrecht ausgeführt ist, sondern nach der einen Seite schräg hochgezogen

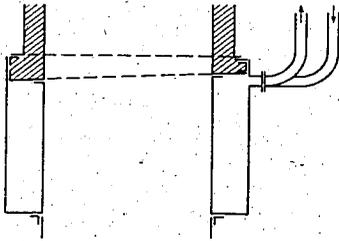


Abb. 20. Kesselmantel mit einseitigen Abgängen (Poetter).

wird und der Dampfabgang zum Oberkessel an dieser höchsten Stelle angeschlossen ist (Abb. 20).

Bei einigen ohne Druck, aber mit siedendem Wasser arbeitenden Kesseln, der sog. Siedekühlung, die besonders für mechanische Kleingeneratoren angewandt wird, steht dieser obenerwähnte, hinter das obere Mauerwerk verlegte Dampfsammelraum in Verbindung mit einer Zuflußregeleinrichtung sowie mit einer Unterwind-Dampfsättigung (Deutz, Abb. 21). Der von oben in diesen Dampfraum eintretende Gebläsewind wird, bevor er in das zentral abwärts führende Rohr eintreten kann, gezwungen, durch den Dampfraum zu wirbeln und sich mit Dampf aufzuladen.

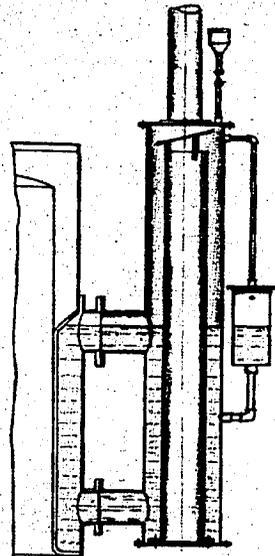


Abb. 21. Druckloser Dampfsammler mit Windsättigung.

Bei dem Dr.-Otto-Generator wird als Dampfsammler ein Röhrenkessel verwendet, durch den zunächst das abziehende Generatorgas

gekühlt wird; dieser Gasabhitzeessel ist mit dem Mantelkessel gekuppelt und so angeordnet, daß er als Dampfsammler für diesen arbeitet<sup>1)</sup>.

Der Generatorschacht bildet meist ein feststehendes Ganzes mit dem Generatordeckel und ruht auf 3 bis 4 außen am Mantel befestigten Säulen. Abweichend hiervon sind aber noch die verschiedensten Anordnungen gebaut worden, z. B. mit feststehendem Schacht und drehendem Deckel und auch mit drehendem Schacht. Auf diese Bauformen ist bei Besprechung der Füllrichtungen und Austragvorrichtungen noch zurückzukommen.

Generatoren mit Hochdruck-Dampfkessel. Die beschriebenen Dampfmantelkessel, die aus Gründen der Betriebsvereinfachung meist mit Niederdruck betrieben werden, sind, wie erwähnt, natürlich auch in grundsätzlich gleicher Ausführung für Mitteldruck möglich, etwa bis 2,5 oder 3 atü. Wenn aber schon Dampf höheren Druckes erzeugt wird, dann ist es im Interesse der Verwertbarkeit des Dampfes richtiger, Dampf von möglichst hohem Druck, 20 bis 25 atü oder doch wenigstens in der in dem betr. Werk allgemein üblichen Druckhöhe, z. B. 10, 12 oder 15 atü im Generatormantel zu erzeugen. Außer diesem Vorteil der besseren Verwertbarkeit des Überschußdampfes wird durch den Hochdruck-Dampfmantel entsprechend seiner höheren Temperatur dem Gaserzeugungsvorgang in der Randzone weniger Wärme entzogen. Weiter gestattet Hochdruckdampf eine mehrfache Dampfausnutzung, z. B. als Arbeitsdampf in einer Dampfturbine und anschließend als Heiz- oder Unterwinddampf.

Auf dem Gebiete der Hochdruck-Dampfkesselgeneratoren leisteten die Wiener Gaswerke gemeinsam mit Heinrich Koppers grundlegende Arbeit seit 1909. Der erste von Koppers versuchte Hochdruckmantel war ein Rauchröhren- oder Feuerröhrenkessel mit Innenheizung für 6 atü Betriebsdruck; er bewährte sich nicht wegen seiner hohen Bauart und weil der Gaserzeugerschacht durch den Röhrenkessel im Betrieb völlig unzugänglich war. Ein Erfolg war dagegen der 1910 als Bauart Marischka entwickelte Wasserröhrenkessel, der die gute Wärmeausnutzung der ersten Bauart beibehielt, außerdem aber gut zugänglich war (Abb. 22). Der Schacht dieses Generators besteht<sup>2)</sup> aus einer ringförmigen Anordnung von Siederöhren, die mit 2 mm Abstand aneinanderstehen. Diese Bauart folgt also der im Kesselbau für höhere Drücke bereits üblichen Tendenz, die wärmeübertragenden Kesselteile in Einzelemente aufzulösen. Oben und unten sind diese Siederöhre mit ihrem selbstverständlich verjüngten Ende in je eine Ringkammer quadratischen Querschnitts eingewalzt. Diese Ringkammern sind aus je 2 Halbringen zusammengeschweißt. Zur Prüfung und etwaigen Nach-

<sup>1)</sup> Bramslav, Gas- u. Wasserfach 77 (1934), S. 617.

<sup>2)</sup> Marischka, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 826; Horak, Gas- u. Wasserfach 74 (1931), S. 935; Zeitschr. Öst. Ver. G.W. 1931.

bearbeitung der Walzstellen sind sie mit ausreichenden Kontrolldeckeln versehen. Die erwähnte Verjüngung der Siederohre ist exzentrisch nach außen verschoben; so daß die Innenfläche der Ringkammern nicht über die Innenfläche der Siederohre nach innen übersteht, was besonders an der unteren Ringkammer zur Vermeidung von Schlackenaufhängen wichtig ist. Die 2 mm breiten, senkrechten Spalten zwischen den Siederohren sind mit Kupferblech ausgelegt und verstemmt. Die unten durch die Verjüngung der Siederohre an der unteren Rauchkammer entstan-

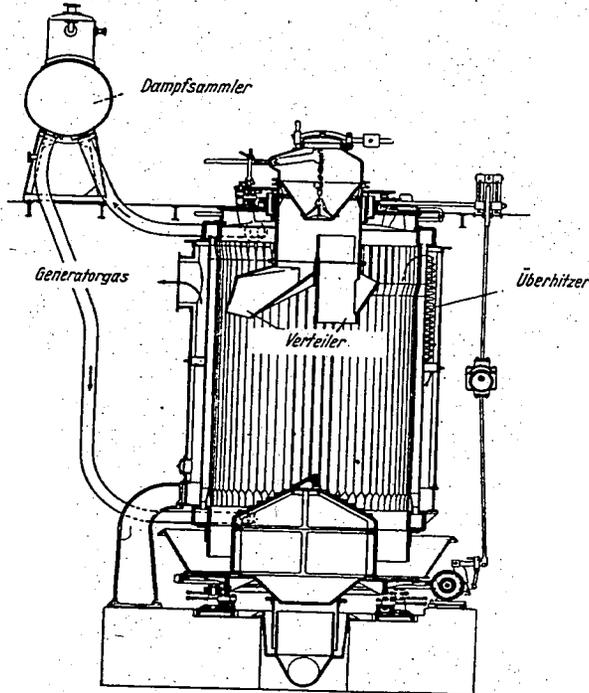


Abb. 22. Hochdruck-Dampfmantelgenerator (Koppers).

denen Lücken und Ausbuchtungen werden durch gußeisernerne Schuhe ausgefüllt, die die Kupferblechsausstemmung nach unten fortsetzen und zugleich einen Schutz gegen die allenfalls noch bis in diese Höhe reichende Schlackenreißung bieten. Oben sind die Siederohre in einem etwa ein Viertel des Schachtmfanges umfassenden Teil nicht nur kurz zum Einwalzen verjüngt, sondern auf  $\frac{1}{2}$  m Länge. Die dadurch entstehende Reihe breiterer, nicht durch Kupferblech ausgefüllter Schlitzte dient als Gasabgang in die Überhitzerkammer, die um die obere Hälfte des Siederohrmantels herumgebaut ist. Das durch diese Siederohrspalten aus-

tretende heiße Gas umspült die Mantelsiederrohre von außen und außerdem die halbringförmig am Schacht anliegenden Dampfüberhitzerrohre und verläßt die Überhitzerkammer entgegengesetzt dem Gasübertritt aus dem Schacht. — Die beiden Ringräume des Siederohrkessels sind durch Rohrleitungen mit dem über Flur aufgestellten Dampfsammler verbunden; zur ausreichenden Abführung des Dampfes hat der obere Ringraum 4 Abgangsrohre, der untere zur Speisewasserrückführung 2 Ableitungen. Die anfangs sehr stark geäußerten Bedenken wegen Verschleißes der Siederohre haben sich, wie der jahrzehntelange Dauerbetrieb erwiesen hat, nicht bestätigt. Natürlich darf der Rohrmantel nicht so weit heruntergezogen sein, daß die Rohre in den Bereich starker Schlackenreibung gelangen. Zudem sind die unteren Enden durch die

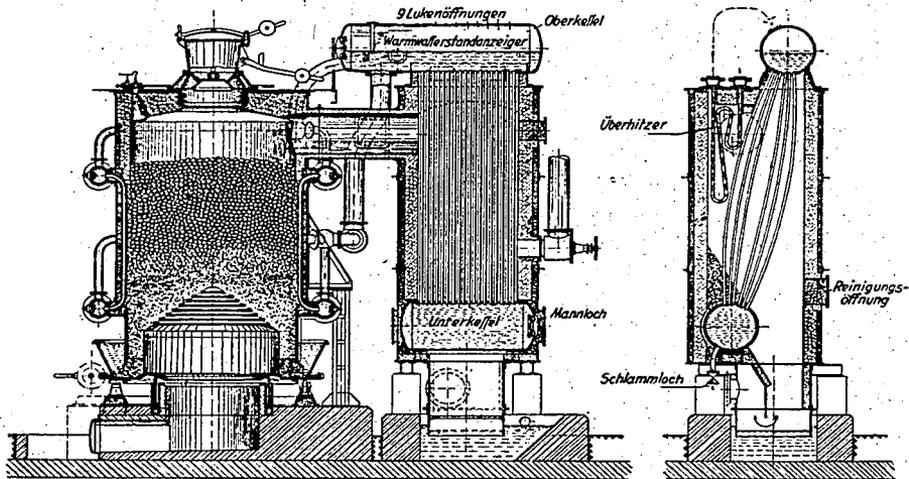


Abb. 23. Hochdruck-Generatorkessel (Pintsch).

erwähnten Gußshuhe bewehrt und der untere Ringraum wird in neueren Ausführungen noch besonders dadurch geschützt, daß der Tauchring an den unteren Ringraum angeschweißt wird und als Halt für innen angeschraubte, gegebenenfalls auch den Ringraum überdeckende Schleißbleche dient.

Ein Hochdruck-Röhrendampfkessel von Pintsch (Abb. 23) ordnet die die Mantelsiederrohre oben und unten verbindenden Ringkammern außerhalb des Schachtmantels an; die Siederohre sind dementsprechend rechtwinklig nach außen abgebogen und die Walzstellen sind durch außen gegenüberliegende Stopfenlöcher zugänglich. Um das Einwalzen der Rohre und das Abprüfen schon in der Fabrik vornehmen zu können, sind die Ringkessel in kurze Segmente unterteilt, die mit den fertig einge-

walzten Rohrbündeln am Ort zusammengesetzt werden. Der Dampfsammler, der das von der oberen Ringkammer aufsteigende Dampf-Wasser-Gemisch aufnimmt, ist zugleich Dampfsammler des Abhitze-Wasserröhrenkessels, der unmittelbar neben dem Generator aufgestellt ist und auch als Staubfang dient. Die Speisewasserrückleitung zur unteren Ringkammer führt ebenfalls von diesem Dampfsammler ab. —

Das innere Schleißblech ist bis oberhalb des Schlackendruckbereiches hochgezogen.

Der Hochdruck-Dampfrohrenkesselgenerator der Lurgi-Gesellschaft für Wärmetechnik gibt den Siederohren und der oberen Ringkammer eine andere Anordnung (Abb. 24). Die obere Ringkammer liegt im Generatoroberteil, sie ist mit außen sichtbarem Wasserstand versehen und nur etwa halb mit Wasser gefüllt, bildet also zugleich den Dampfsammler. Die Dampfentnahme ist an der Oberseite der Ringkammer angeschlossen. Die Siederohre bilden einen Doppelmantel; der innere Siederohrmantel ist der Wärme des Brennstoffbettes unmittelbar ausgesetzt und dient als Steigerohr, der Obertheil dieser Rohre ist zur besseren Verteilung der Einwalzstellen wechselnd verschieden gebogen. Den äußeren Mantel bilden die Wasserrückführungs-

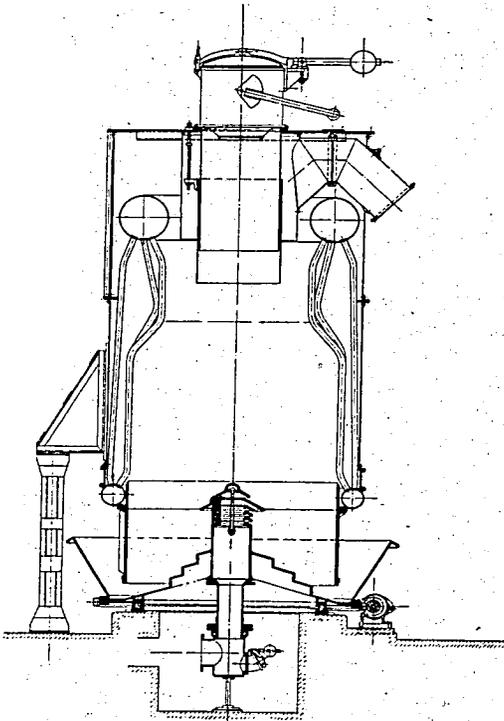


Abb. 24. Hochdruck-Generatorkessel (Lurgi).

oder Fallrohre; sie sind durch die zwischen beiden Rohrreihen eingebauten Chamotteformsteine vor direkter Beheizung geschützt. Die Wasserzufuhr wird auch durch Zuflußregler bedient. Die untere Ringkammer und die unteren Enden der Steigerohre springen so weit zurück, daß der Tauchring zu ihrem Schutz bis über Rostkegelhöhe hochgezogen werden kann.

Einen anderen, in Wien entwickelten Hochdruck-Dampfgenerator, der allerdings nur bis 6 atü betrieben wurde, beschreibt Marischka<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Marischka, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 826.

(Abb. 25). Um die Wärmeaustauschfläche des Doppelmantelkessels möglichst zu erhöhen, wurden in die Außenwand 2 Reihen gebogener Siederohre eingewalzt und diese Rohrreihen mit einer von dem abziehenden Generatorgas durchströmten Außenkammer umkleidet. Der Gasabgang aus dem Generatorschacht führt unmittelbar in diese Kammer oben hinein und auf der entgegengesetzten Seite unten hinaus. Der Mantelkessel ist in diesem Falle in ganzer Schachthöhe ausgeführt.

Außer den oben für den Hochdruck-Dampfkesselgenerator erwähnten Vorteilen liegt ein weiterer noch in der erzeugten Dampfmenge. In kg Dampf je kg durchgesetzten Rohkoks berechnet, wird mit dem

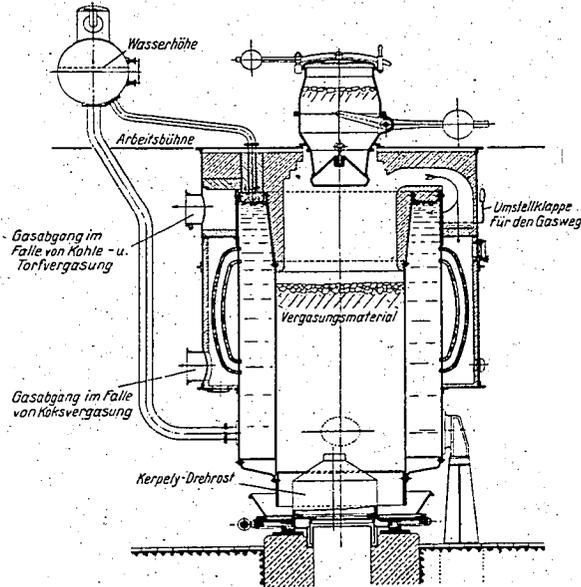


Abb. 25. Generator-Mantelkessel mit äußeren Siederohren.

Niederdruck-Dampfkessel meist 0,5—0,8—1,0 kg Dampf erzeugt. Der Hochdruck-Dampfkessel in Siederohrausführung und auch der Mantelkessel mit äußeren Siederohren erzeugen bis 1,5 kg Dampf je kg Koks.

Mit zunehmendem Schachtdurchmesser nimmt allerdings die Dampferzeugung je kg Durchsatz etwas ab, weil der für die Durchsatzleistung maßgebende Schachtquerschnitt im Verhältnis zum Umfang stärker wächst (vgl. Abb. 12).

### γ) Der Generatoroberteil.

Der Generatordeckel zeigt mit allem Zubehör eine fast noch vielseitigere Ausbildung als der Schacht. Die Hauptbestandteile außer dem

Deckel selbst sind die Brennstoffzufuhr, die Brennstoffverteilung, besondere Stoecheinrichtungen und die Stochlöcher.

Die Brennstoffzufuhr erfolgt bei den meisten Anlagen durch Hängewagen od. dgl., die möglichst über eine Wiegeeinrichtung verfahrbar sind oder eine solche eingebaut haben. In größeren Anlagen und auch in Einzelanlagen, bei denen die Bedienung vereinfacht werden soll, ist auch selbsttätige Zufuhr zu finden. Diese erfolgt entweder durch nach Bedarf einzuschaltende Becherwerke oder durch Zuleitungsgrutschen aus zentralen oder Einzelbunkern. Als Aufgabemittel dient dann meist ein Zellenrad.

Eine automatisierte Form der Brennstoffzufuhr, die den Impuls von der Höhe der Schüttung entnimmt, zeigt Abb. 26. Ein mit leichtem Gegengewicht entlasteter Fühlhebel wird von der durch das Zellenrad noch

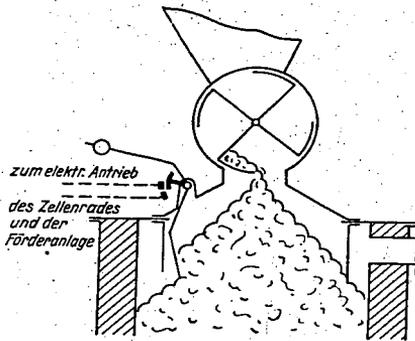


Abb. 26. Automatische Füllvorrichtung (Deutz).

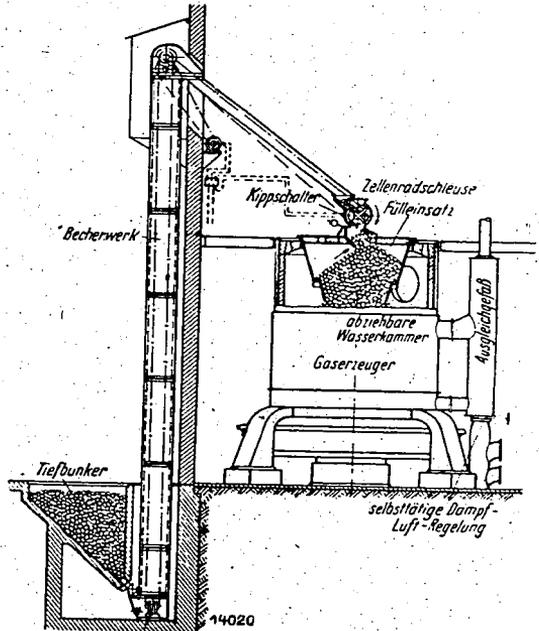


Abb. 27. Vollselbsttätige Gaserzeugerbeschickung (Humboldt-Deutz).

geförderten Füllung niedergedrückt. Ein auf der gleichen Welle befestigter Kontakthammer wird gleichzeitig gehoben und der Kontakt und damit die Zufuhr unterbrochen. Sobald nach Absinken der Schüttung der innere Hebel frei wird, schlägt er durch das Gegengewicht hoch und schließt den Kontakt zum Wiederanlaufen des Zellenrades und gegebenenfalls des Fördermittels. Den Gesamtaufbau einer solchen selbsttätigen Brennstoffbeschickung gibt Abb. 27. Ebenso läßt sich der Impuls für die automatische Aufgabe durch einen Kohlenstandschwimmer einrichten (Pintsch)<sup>1)</sup>, der die Arbeit des fördernden Zellenrades

<sup>1)</sup> Luth, Mitt. 172 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

zwischen einer unteren und oberen Grenzfüllung nach Bedarf einschaltet.

Eine andere Form der automatischen Aufgabe geht einfach von der Sollmenge aus, die der Gaserzeuger durchzusetzen hat und regelt diese Menge durch die Umlaufgeschwindigkeit des aufgebenden Zellenrades (Poetter, Abb. 31). Die Trommelumdrehung ist dann natürlich in den der Generatorleistung entsprechenden Grenzen regelbar.

Solche gleichmäßig fördernde Aufgabevorrichtungen können auch halbautomatisch der Aufsicht des Generatorwärters überlassen und von diesem schwächer oder stärker gestellt werden.

Das fördernde Zellenrad wird vier-, drei- oder zweiflügelig ausgeführt.

Ein besonders wichtiger Teil des Generatorkopfes ist die Brennstoffverteilung im Generator. Bei völlig gleichförmig gekörntem und bereits entgastem Brennstoff ist diese von geringerer Bedeutung und es genügt dann ein einfacher Doppelverschluß, der es ermöglicht, den Brennstoff ohne Gasaustritt aus dem Generatorkopf in diesen einzuschleusen. Der Doppelverschluß besteht aus dem oberen, gasdicht aufgepreßten Deckel, der metallisch dichtet oder besser mit einer Filz- oder Gummidichtung versehen wird, und einer darunter aufgehängten Kegelglocke, die durch Hebel von außen als Konusverschluß betätigt wird (vgl. Abb. 17, 25, 28) und bei Öffnen des oberen Deckels angehoben sein muß. Diese Konusglocke bewirkt an sich schon eine gewisse Verteilung des einfallenden Brennstoffes nach dem Rande zu. Bei Brennstoffen verschiedener Körnung, d. h. mit wesentlichen Korngrößenunterschieden, würde diese Verteilungsart aber nicht verhindern können, daß die größeren Stücke und Körner weiter nach außen geworfen werden und zudem noch abrollen. Dadurch tritt eine Entmischung des Brennstoffes ein und insbesondere dem Rande zu eine Auflockerung. Diese ist um so bedenklicher, je feiner die Kleinanteile der Brennstoffmischung, also je größer der Grusgehalt ist. Zu starke Auflockerung der Schüttung am Schachtumfang führt zu stärkerem Winddurchgang auf diesem bequemeren Wege, damit zu Randfeuer, zu ungleichmäßiger Verschlackung, Verlagerung der Reaktionszone, ungleichmäßiger Gasumsetzung, Gasverschlechterung und zu Brennstoffverlusten durch mehr Unverbranntes in der Asche.

Mit der zunehmenden Verwendung feinkörniger oder nicht besonders sortierter Brennstoffe wurde deshalb die Brennstoffverteilung in der verschiedensten Form verfeinert. Bei teerhaltigen Brennstoffen kommt noch ein weiterer wichtiger Grund hinzu. Wird solcher Brennstoff in größeren Zeitabständen und in dementsprechend größeren Einzelmengen aufgegeben, so erfolgt die Abschwelung des Bitumengehaltes stoßweise; die Gasbeschaffenheit und auch die Belastung der Reinigungsanlagen wechselt dabei unter Umständen in so starker Schwankung, daß zu fettes und zu mageres Gas die Verbrennungsverhältnisse und damit die Flammentemperaturen nachteilig beeinflusst.

Die Verbesserung der Aufgabe wurde sowohl durch umlaufende wie auch durch feststehende Brennstoffverteiler erreicht. Der umlaufende Brennstoffverteiler kann, mit dem Deckel verbunden, sich mit diesem drehen oder er dreht sich nur als Mittelteil des Deckels in einer Wassertasse mit entsprechender Tauchung.

Der als Mittelstück des Deckels mit dem Füllaufsatz umlaufende Brennstoffverteiler von Koppers<sup>1)</sup> ist aus Abb. 28 zu ersehen. Er setzt den Füllschacht unter dem Konusverschluß fort durch drei gußeiserne Rutschen oder Schläuche, von denen der eine, senkrecht abführende, die Mitte der Brennstoffsäule bestreicht, der äußerste die Randzone belegt und ein mittlerer (in der Abb. punktiert) den zwischenliegenden Raum.

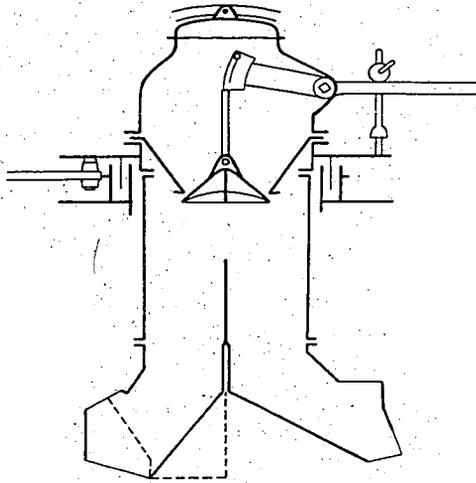


Abb. 28. Brennstoffverteiler (Koppers).

Sowohl ungleichmäßige Mischungen wie auch abwechselnd aufgebraachte Nuß- und Grusschüttungen werden gleichmäßig von allen drei Schläuchen weitergegeben, da die Verteilungskanten unter dem Konus jedem Schlauch den Anteil der jeweiligen Füllung zuteilen, der dem von ihm bestrichenen Teil des Schachtquerschnittes entspricht. Dieser Einsatz erreicht außer der gleichmäßigen Verteilung auch eine stets gleichmäßig hohe, durch die Unterkante der Schläuche bedingte Schüttung. Voraussetzung ist natürlich, wie bei allen nicht automatisch beschickten Füllvorrichtungen, sorgfältige Bedienung der Füllvase und des Füllkonus. Der Antrieb dieses Verteilers erfolgt von einer zugleich den Drehrost antreibenden Welle über Exzentrerscheibe, Klemmbackenrad und Kegelschneckenübertragung.

<sup>1)</sup> H. Koppers, DRP. 372074, 428144.

Ein ebenfalls anemender Brennstoffverteiler von Humboldt-Deutz (Abb. 29) wird innerhalb eines Doppeldeckels durch einen Schneckenantrieb bewegt. Die flach-fächerartig geformte Fortsetzung des Füllschachtes bezweckt, den Brennstoff unter langsamer Verbreiterung seiner Oberfläche so absinken zu lassen, daß dadurch ein Abrollen und eine Entmischung vermieden wird. An der Unterkante angesetzte Dorne fördern die Gleichmäßigkeit der Schichthöhe und der Verteilung.

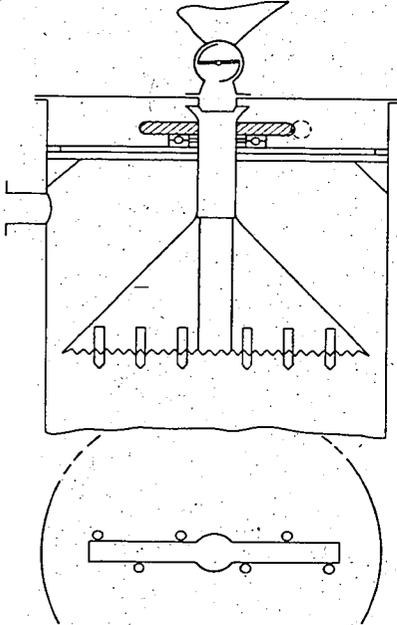


Abb. 29. Brennstoffverteiler (Humboldt-Deutz).

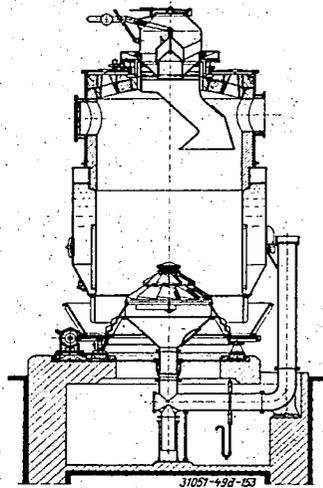


Abb. 30. Generator mit planierender Füllrutsche (Demag).

Der Demag-Generator arbeitet mit einer den Auslauf der Füllvase schräg fortsetzenden Rinne, die auch mit dem Füllaufsatz in Deckelmitte gedreht wird und dabei mit dem verstärkten Unterteil der Rutsche als Planierer wirkt (Abb. 30). Der Doppelverschluß dieses Aufsatzes hat eine untere Verschlußglocke, die nicht von unten pressend (wie z. B. Abb. 28), sondern aufsitzend dichtet. Sie läßt sich daher bei Instandsetzungsarbeiten im Betrieb leichter ausbauen als die ersteren.

Eine mit dem ganzen Deckel umlaufende Füllvorrichtung zeigte Abb. 15 an dem Demag-Hochleistungsgenerator.

Gegenüber diesen in sich unbewegten Drehverteilern wird der Standard-Verteiler (Poëtter)<sup>1)</sup> während der Drehung bewegt (Abb. 31). An

<sup>1)</sup> Poëtter, DRP. 456008.

dem, wie üblich, im feststehenden Deckel mit Tauchung drehbaren Füllschacht ist eine heb- und senkbare Rutsche angebracht, die in ständiger Pendelbewegung von der Randzone zur Mitte hin und her geht. Gleichzeitig mit der Drehung ist durch eine als Schablone dienende, für jeden Generatordurchmesser besonders berechnete Stufenscheibe die Bewegung der Schüttrinne so geregelt, daß sie in spiraligen Windungen die ganze Brennstofffläche gleichmäßig wiederkehrend bestreicht. Fall und damit

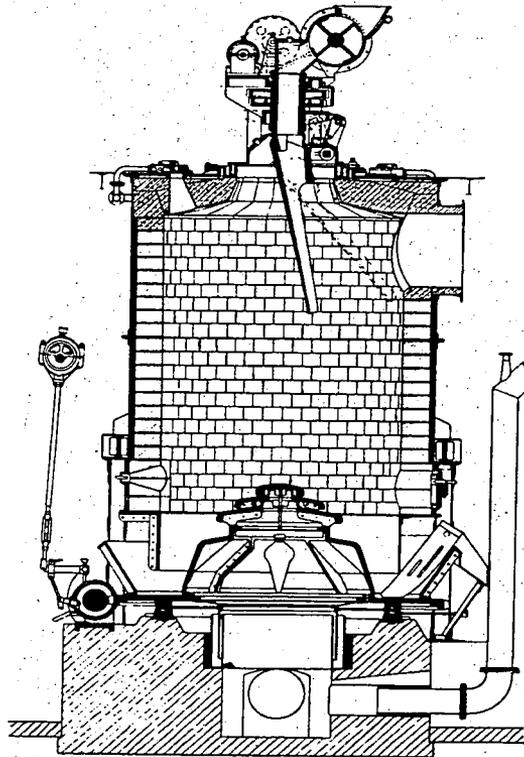


Abb. 31. Standard-Verteiler (Poetter).

Staubbildung sind durch die Länge der Rutsche weitgehend vermindert. Die Aufgabe auf die Rutsche erfolgt automatisiert in einstellbarer Menge durch ein Zellenrad.

Einige amerikanische Gaserzeugerbauarten, die hauptsächlich mit Anthrazit und Stückkohle arbeiten, verlegen die Bewegung nicht in den Deckel, sondern in den ganzen Generatorschacht, während der Deckel mit der Füllvorrichtung feststeht. Solche sind der Hughes-Generator<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> H. Bleibtreu u. G. Bulle, Mitt. 71 d. Wärmest. Düsseldorf.

und der Wellmann-Generator<sup>1)</sup>. Beide sind weitgehend automatisiert. Der Hughes-Generator dreht von demselben Antrieb aus den Mantel und die Rostschüssel gleichzeitig, die Asche wird durch einen außen an einer Säule feststehenden Pflug ausgeräumt. Die feststehende Kohlenzufuhr, die etwas aus der Mitte steht und dadurch schon verteilt aufgibt, führt den Brennstoff über automatisch gesteuerte Zellenräder bzw. Doppelglocken zu. Die Gasabführung muß wegen der Schachtdrehung auch im Deckel eingebaut sein. Dieser ist gegen den Schacht in üblicher

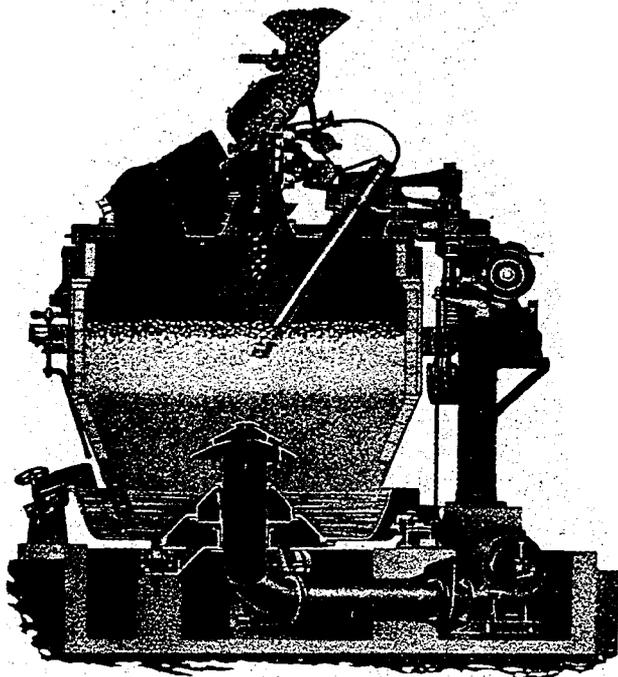


Abb. 32. Wellmann-Generator.

Weise durch eine Tauchtasse abgedichtet. Auf den auch im Deckel eingebauten Rührarm ist später noch zurückzukommen. — Der Wellmann-Generator (Abb. 32) unterscheidet sich von dem Hughes-Generator besonders dadurch, daß nur der Schacht gedreht wird. Die Rostschüssel hat gar keinen Antrieb, sie wird entweder durch die mit dem Mantel drehende Brennstoffsäule mitgenommen, oder sie kann, zwecks schärferer Durcharbeitung des Schlackenlagers durch den etwas exzentrisch

<sup>1)</sup> Engg. 119 (1925), S. 37; Herboldt, Gas- u. Wasserfach (1933), S. 112.  
Brückner, Gasindustrie II/1.

stehenden Rost, auch festgestellt werden. — Der Schacht ist bei beiden Generatoren ausgemauert und in der unteren Hälfte konisch nach oben erweitert, in der oberen Hälfte zylindrisch. Diese Bauarten, die wie erwähnt, bis 3,2 m Dmr. haben, nehmen besonders hohe Durchsatzleistungen für sich in Anspruch (vgl. S. 76).

Im Generatordeckel feststehende Brennstoffverteiler dienen entweder nur der Verteilung auf den Schachtquerschnitt oder zugleich der Schütthöhenregelung oder auch nur der letzteren.

Der Brennstoffverteiler von Dr. Otto<sup>1)</sup> (Abb. 33) stellt einen durch sternförmig angeordnete kleine Rutschen erweiterten Füllkonus dar, der

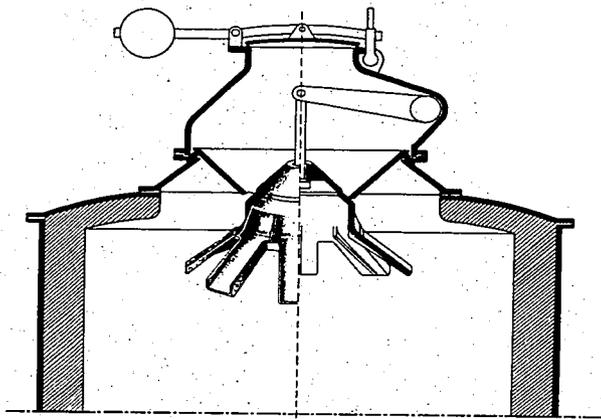


Abb. 33. Brennstoffverteiler (Dr. Otto).

das Feinkorn, zumal bei größerem Schachtquerschnitt, besser zur Randzone befördert, als dies mit einfachem Konus möglich ist.

Verteilung und Brennstoffhöhe regelt der Verteiler von Humboldt-Deutz (Abb. 34), der den im Füllschacht absinkenden Brennstoff teils durch eine zentrale Öffnung, teils durch vier über Kreuz stehende Rutschen mit zwischenliegenden Gasdurchgängen verteilt. Die Höhe des Brennstoffbettes kann bei Körnungswechsel oder sonstigen grundsätzlichen Betriebsänderungen durch Verstellung der senkrechten Distanzschrauben von außen bewirkt werden.

Bei geringerem Schachtdurchmesser und bei gleichmäßig gekörntem Brennstoff gibt auch der einfache, verstellbar verlängerte Füllschacht (Abb. 35) eine gute Verteilung.

Bei dem Hochleistungsgenerator (Abb. 15) wird dieser Füllschacht durch eine mit heißem Schwelwasser berieselte Rohrschlange gebildet, die die eingefüllten Briketts vorwärmt.

<sup>1)</sup> Dr. Otto u. Co. DRP. 657866.

Alle diese Brennstoffverteiler haben, wie erwähnt, neben der Aufgabe einer gleichmäßigen Verteilung vor allem auch den Zweck, die Höhe der Brennstoffschicht zu begrenzen. Diese Höhe der Füllung, von Rostspitze bis Unterkante des Verteilers gerechnet, betrug bei entgasten Brennstoffen früher 1400—1800 mm, neuerdings wird wegen des höheren Winddruckes und der entsprechend breiteren Reaktionszone eine Höhe von 1900 bis 2000 mm angestrebt.

Während diese Brennstoffverteiler von vornherein eine gleichartige und gleichmäßige Verteilung bezwecken, dienen die Rührwerke der Einebnung des in der Mitte eingeschütteten Brennstoffes und der Auflockerung der ganzen Schüttung. Letztere Nachhilfe ist vor allem

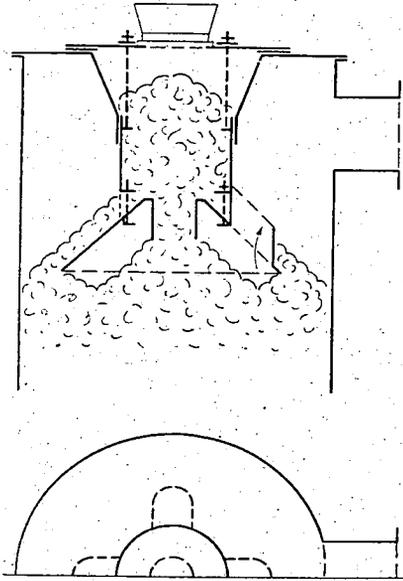


Abb. 34. Brennstoffverteiler.

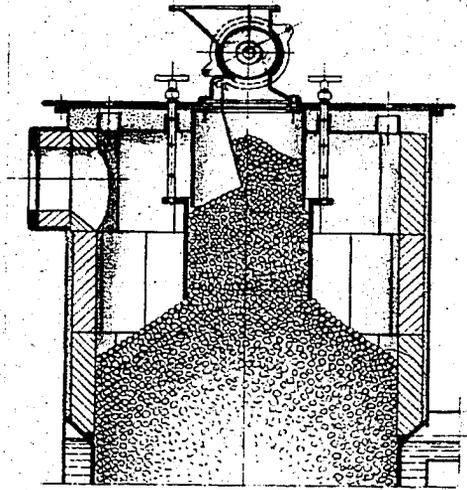


Abb. 35. Verstellbarer Füllschacht (Deutz).

dann wichtig, wenn der Brennstoff eine Neigung zum Backen zeigt. Vor allem aber wird für diese Rührwerke angegeben, daß die Leistung des Gaserzeugers dadurch wesentlich gesteigert wird, weil das Brennstoffbett überall gleichmäßig durchlässig gehalten wird.

Rührwerke wurden in Amerika bei der dort üblichen Bevorzugung der Steinkohle im Generatorenbetrieb schon lange und häufig verwandt, insbesondere das mit wassergekühlten Rührarmen arbeitende Rührwerk nach Mindoga-Chapman, das auch in der deutschen Hüttenindustrie eingeführt ist<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Mitt. 172 d. Wärmest. Düsseldorf u. Mitt. 205 dgl.

Als deutsche Ausführung ist der Poetter-Rotor<sup>1)</sup> (Abb. 36) bekannt. Dieser besteht aus einer mit zwei Rührarmen versehenen, durch das Füllmundstück führenden und oberhalb dieses mittels Schnecke angetriebenen Mittelachse. Die Rührarme tragen nach unten je mehrere Dorne. Das ganze System ist ebenfalls wassergekühlt, das Kühlwasser wird der Mittelachse oberhalb des Antriebes zugeführt und verläßt das System durch sichtbare Abläufe über dem Generatordeckel. Der Rühr-

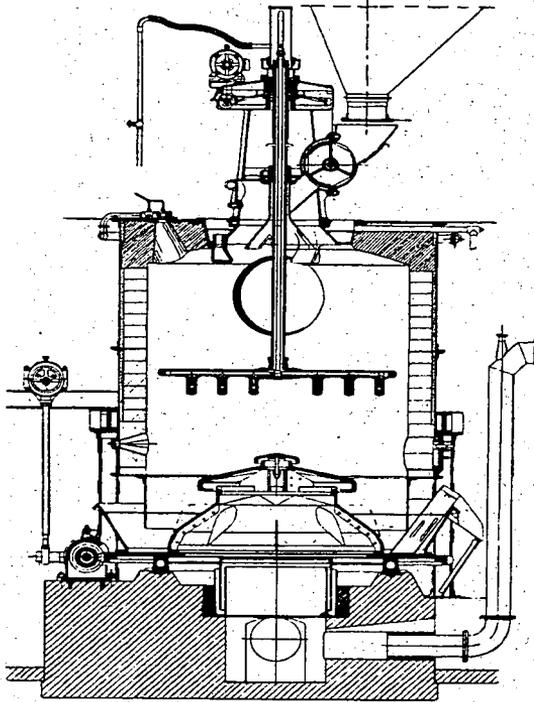


Abb. 36. Poetter-Rotor.

arm des Poetter-Rotors arbeitet nicht über der Brennstoffoberfläche, sondern in der noch festen Kohle der Entgasungszone<sup>2)</sup>. Die Dorne greifen unter Umständen lockernd bis in die Reaktionszone ein. Um zu vermeiden, daß der Rührarm bei Widerständen im Brennstoffbett, z. B. bei Schlackenverwerfungen, von diesen hochgehoben wird und darüber hinwegleitend das Brennstoffbett noch ungleichmäßiger macht, wie das bei den amerikanischen Bauarten vorkommt, wird der Poetter-Rotor oben im Antrieb durch ein »unterbrochenes Gewinde« geführt und in der richtigen Höhenlage gehalten. Die Mittelachse ist mit unterbrochenen Außengewindegängen und einer Antriebsnute versehen, die Büchse mit Innengewinde, ferner außen mit schrä-

gen Anhebeflächen. Dadurch kann der Rührarm zwar bei Brennstoffauffüllung der Erhöhung folgen, sowie dem Absinken der Schüttung, aber in der jeweils erreichten Höhenlage dreht er sich zwangsläufig gleich hoch. Die oben über den Antrieb herausragende Mittelachse zeigt dem Stocher die Höhe des Brennstoffbettes an.

Die schon oben erwähnten schaftförmigen Rührarme des Hughes- und Wellmann-Generators (S. 49, vgl. Abb. 32) arbeiten grundsätzlich

<sup>1)</sup> Poetter, DRP. 458539.

<sup>2)</sup> J. Gwosdz, Brennst.-Chemie, 19 (1938), S. 317.

anders als die Rotoren. Der Schaft ist ebenfalls wassergekühlt und mit kräftiger Spitze versehen. Seine Bewegung geht nur zwischen Schachtmitte und Schachtmantel pendelnd hin und her. Dadurch aber, daß die Brennstoffsäule sich mit dem Mantel dreht, durchwühlt der Rührschaft den ganzen Inhalt. Abb. 37 zeigt den vom Rührarm im Laufe einer halben Stunde bestrichenen Weg, der eine völlige Durcharbeitung der Brennstofflage bis in die Reaktionszone sichert (Demag).

Der in Abb. 15 gezeigte Hochleistungsgenerator ist mit einem besonderen Stochapparat ausgerüstet. Er besteht aus einer wassergekühlten Stochstange, die senkrecht oder beliebig schräg gestellt (bis zur Mitte bzw. bis zum Rande reichend), durch einen angebauten Motor in den Brennstoff bis unten hin eingehohrt werden kann. Um mit ihr den ganzen Generator bestreichen zu können, ist der äußere Deckelring um die feststehende Füllvorrichtung herum drehbar und wird, von der Stochstange in der obersten Stellung selbsttätig weitgeschaltet, herumbewegt.

Die im Generatordeckel im allgemeinen zu 4—6 Stück vorhandenen Stochlöcher wurden früher mit einfachen konischen Stopfen verschlossen. Bei dem zur Betriebsüberwachung öfter notwendigen Öffnen dieser Stopfen ist aber, zumal bei höheren Gasdrücken im Generator, die Belästigung des Bedienungspersonals durch Gasaustritt sehr erheblich. Um

diese zu verhindern, sind zahlreiche Düsenverschlüsse für Stochlöcher entwickelt worden, bei denen der austretende Gasdruck beim Öffnen durch einen Gegendruck von Dampf, Druckluft, Dampf-Luft-Gemisch oder auch von Preßgas überwunden wird. Da die Öffnungszeiten bei normalem Generatorbetrieb nicht lang sind, kann die durch den Luftzutritt natürlich vorübergehend eintretende Verbrennung und Gasverschlechterung als belanglos angesehen werden. Dampf vermeidet zwar diese Gasverschlechterung, doch ist dabei die Kondensatbildung störend. Ist Preßgas vorhanden, so ist dieses Mittel unbedingt vorzuziehen. Die Arbeitsweise dieser Stochlochverschlüsse beruht auf dem Einbau einer Ringdüse oder eines Kranzes von Einzeldüsen, die schräg abwärts dem aus dem Generator austretenden Gasdruck entgegen gerichtet sind. Welche Bedeutung diesen Düsenverschlüssen in der Generatorenindustrie beigemessen wird, beweist die vielseitige Zu-

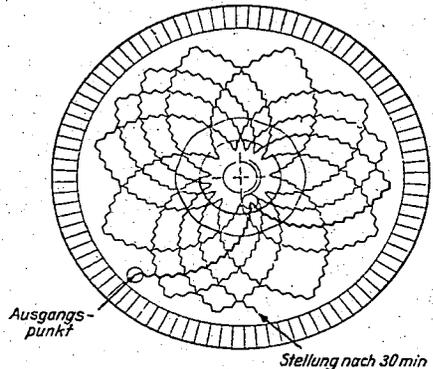


Abb. 37. Weg des Rührarmes im Wellmann-Generator während 30 min Arbeitszeit.

sammenstellung dieser Bauarten in der Literatur<sup>1)</sup>. Als Beispiel hieraus zeigt Abb. 38 eine Bauart Spetzler, bei der die Luftkanäle durch den geschlossenen Stopfen verdeckt werden; die Luftzuleitung ist durch ein Hahnküken verschlossen, das mit dem Stoßlochstopfen durch ein Gelenk so verbunden ist, daß erst bei Beiseitestellen des Stopfens der Luftweg zum Stoßlochwindschutz freigegeben wird. — Bei der Bauart Heimsoth-Vollmer (Abb. 39) liegen die Luftdüsen oberhalb des Stopfens.

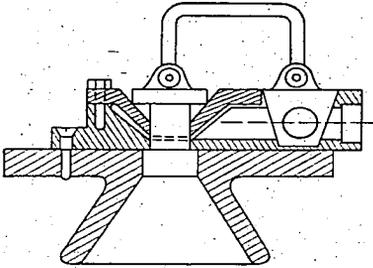


Abb. 38. Stoßlochverschluß Bauart Spetzler.

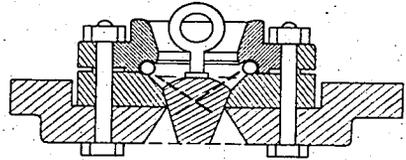


Abb. 39. Stoßlochverschluß Bauart Heimsoth und Vollmer.

Den gleichen Dampfschleierschutz, wie für Stoßlöcher üblich, verwenden Koller-Generatoren auch für den Füllkopf selbst<sup>2)</sup>, weil der eingehängte Konusverschluß infolge Verschmutzung nie zuverlässig dicht schließt.

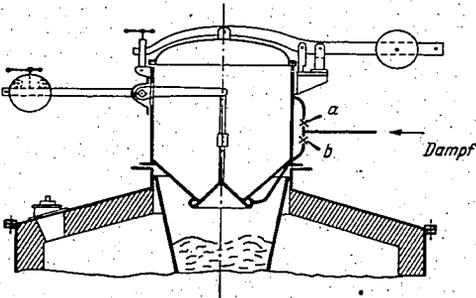


Abb. 40. Generator-Füllkopf mit Dampfschleier

*a* die Füllvase nach unten ausgedampft und entgast wird, dann nach Schließen von *a* wird Dampfventil *b* geöffnet und beim Absenken des Füllkonus tritt durch die freiwerdenden Öffnungen des Dampfingkanals um den Konus ein den Gasaustritt verhindernder Dampfschleier.

#### δ) Rost und Aschenausstragung.

Der Unterbau des Drehrostgenerators dient sowohl der Austragung der Brennstoffrückstände, als auch der Windverteilung im Brennstoffbett.

<sup>1)</sup> Mitt. 54 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

<sup>2)</sup> Kollergas, DRP. 594160.

Die Hauptbestandteile sind der in der Mitte der Drehschüssel aufgebaute Rost mit darunterliegender Windzufuhrleitung, die Drehschüssel mit Lagerung und Antrieb und die Ascheräumer.

Der Rost hat sehr verschiedene Ausbildungsformen erhalten; für seine Form war sowohl die Art des Brennstoffs als auch die Art und Menge der anfallenden Asche und der Durchmesser des Generators maßgebend. Drei Grundformen sind im wesentlichen zu unterscheiden, breite kegelförmige, breite flache und schmale pilzförmige Rostkegel.

Bei den Kegelrosten stellten einige die Windverteilung in den Vordergrund, so der Düsenrost von Koppers (vgl. Abb. 16, 22), der den Wind durch zahlreiche kleine Düsenbohrungen in die Schlacke verteilte. Da ein solcher Rost aber einen wesentlichen Druckverlust bedingt und die

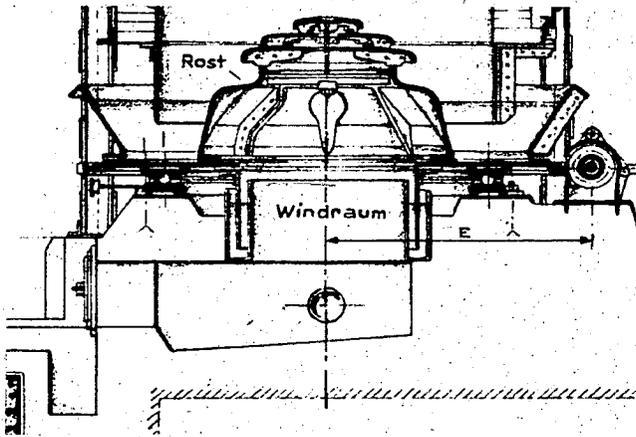


Abb. 41. Poetter-Etagenrost.

Verteilung des Windes auf den Schachtquerschnitt ohnehin mit durch die Aschenschicht erfolgen muß, wird jetzt vor allem darauf Wert gelegt, dem Wind einen möglichst gleichmäßigen, ungehinderten Durchgang durch den Rost zu ermöglichen<sup>1)</sup> und für genügende Auflockerung des Aschebettes zu sorgen. Aus letzterem Grunde wird fast immer eine etwas exzentrische Bewegung des Rostes im Schachtquerschnitt eingerichtet, entweder durch einseitig versetzte Form des Rostunterteils oder der Rosthaube, oder durch Exzentrizität des Rostunterteils und der Rosthaube in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung (so daß die Rostspitze wieder etwa über der Mitte des Rostunterteils steht).

Die breiten kegelförmigen Roste sind am meisten verbreitet. Die einfachste Form ist der Kegelstufenrost (vgl. Abb. 10). Ebenfalls

<sup>1)</sup> F. Lüth, Mitt. 172 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

ringsum gleichförmig ist der Poetter-Etagenrost (Abb. 41). Der Ostenrost hat nur ein breites Pildach und darunter einen jalusieartig untergreifenden Etagenring mit entsprechend breiten Luftschlitzen. — Andere breite Kegelroste bewirken auch mit der Form der Rosthaube schon

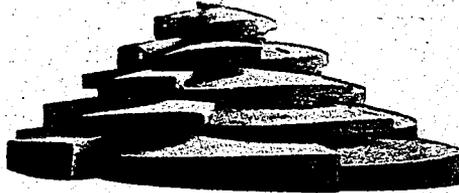


Abb. 42. Spiral-Stufenrost.

eine Lockerung des Aschenbettes, so der Spiralstufenrost (Humboldt-Deutz, Abb. 42), dessen Stufenteile kreis- bzw. spiralförmig liegen.

Die schon durch exzentrische Anordnung angestrebte Aschenbewegung oder Zerkleinerung wird weiter bei einigen Bauarten gefördert durch

unregelmäßige Gestaltung des Rostunterteils, so bei dem Polygonrost (Koppers) durch vieleckige Form, wobei den Ecken des Vielecks einige am Tauchring angebrachte Brechbacken gegenübergestellt sind. Einen ähnlichen Zweck verfolgt der Sternrost (Poetter, Abb. 43).

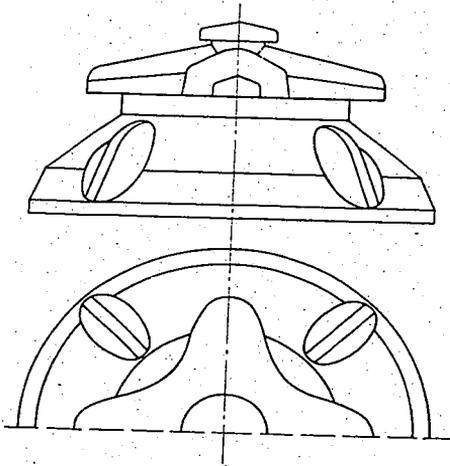


Abb. 43. Poetter-Sternrost.

Diese Kegelroste sind entweder in einem Stück gegossen oder, besonders für größere Schachtdurchmesser, zusammengesetzt aus der Rostspitze und aus Etagenringen oder Segmenten des Kegels. Auch der Pyramidenrost des zur Zeit größten Drehrostgaserzeugers nach Ricci Gozo (S. 32) mit 5 m Schachtdurchmesser ist aus 16 Segmenten zusammengesetzt.

Als Material wird fast ausschließlich Gußeisen verwandt, für die u. U. durch Hitze stärker beanspruchte Rostspitze auch Stahlguß. Bei den Rosten oder Rostunterteilen, die durch unregelmäßige Form einen stärkeren Angriff auf das Schlackenbett oder auf ankommende Schlackenbrocken bezwecken, sollten die dem Verschleiß besonders ausgesetzten Kanten oder Flächen außer der bereits üblichen Material-

verstärkung an diesen Stellen möglichst mit einer Panzerung durch Auftragschweißung hochwertigen Materials versehen werden<sup>1)</sup>, da ein wesentlicher Verschleiß dieser Stellen auf die Dauer die Arbeitsweise beeinträchtigen muß und der bei Verschleiß notwendige Ausbau aber sehr umständlich und teuer ist.

Ein Beispiel eines flachen, breiten Rostes gibt der Lurgi-Tischrostgenerator (Abb. 44). Eignet sich besonders für feuchte Braunkohle mit lockerer Asche. Bei Vergasung dieses Brennstoffes kommt die Feuerzone verhältnismäßig tief zu liegen und eine zu scharfe Bewegung der Austragung würde sehr leicht zu störenden Verwerfungen oder Nestbildungen im Aschenbett führen (betr. halbtrockene Austragung vgl. später!). — Eine

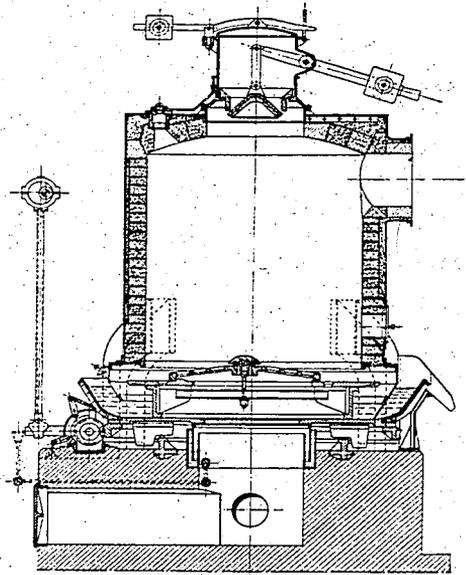


Abb. 44. Tischrost-Generator mit halbtrockener Austragung (Lurgi).

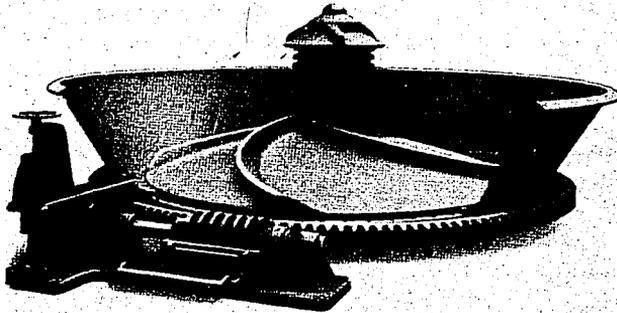


Abb. 45. Koller-Fräserrost.

eigenartige, ganz abweichende Form des flachen Rostes ist der von Pintsch in neuzeitlichen Wassergasanlagen angewandte Rost (vgl. Abb. 123).

Als kleiner Pilzrost ist vor allem der Koller-Rost bekannt<sup>2)</sup> <sup>3)</sup> (Abb. 45). Unter einem kräftigen pilzförmigen Dach befinden sich einige

<sup>1)</sup> F. Wehrmann, Gas- u. Wasserfach 82 (1939), S. 582; Licht u. Wasser 33 (1939), S. 333.

<sup>2)</sup> Gas- u. Wasserfach 74 (1931), S. 936.

<sup>3)</sup> Kollergas, DRP. 628902, 431892, 426396; öst. Pat. 122970, 140581.

ringförmige Luftschlitze für das Wind-Dampf-Gemisch. Dieser Rostkörper übt an sich keine mahlende oder pressende Kraft auf das Schlackenbett aus. Die Schlacke wird vielmehr durch die auf dem ganz flach erhöhten Schüsselboden stehenden, gegen die Drehrichtung zum Rande zu etwas zurückfliehenden Rippen von unten abgearbeitet. Da diese Rippen mit einer nach vorn übergeneigten Kante die Schlacke angreifen, also abfräsen, wird diese Rostart auch als Fräserrost bezeichnet. — Noch viel stärker zurückfliehend sind die Rippen oder Leitschaukeln bei dem Drehrost mit spiraligen Leitrippen oder »archimedischen Spiralen« (Dr. C. Otto, Abb. 46)<sup>1)</sup>. Der Arbeitszweck ist hier neben dem Fräsen ein all-

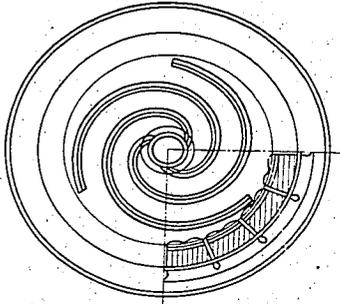


Abb. 46. Drehrost mit spiraligen Leitrippen. Aufsicht.

mählicher Schlackentransport zum Tauchring; die dort tangential ankommende Leitrippe preßt die Schlackenstücke gegen den mit welligen Schleißstücken besetzten Schleißring. — Nach F. Lüth<sup>2)</sup> erfordert solcher kleiner Rostkegel zur gleichmäßigen Verteilung des Windes auf den ganzen Schachtquerschnitt eine höhere Aschenschicht als ein breiterer Rost.

Die Umdrehungszahl des Rostes ist zunächst von der Brennstoffart und Aschenmenge abhängig, im einzelnen noch vom Stand der Feuerzone. Meist üblich sind eine bis vier Umdrehungen in der Achtstundenschicht, doch sind natürlich auch langsamere und schnellere möglich, sowie nach Bedarf vorübergehendes Stillsetzen der Rostschüssel.

Den Abschluß des Generators nach unten bildet bei unserem Abschluß die Wassertauchung der Drehschüssel. Für die Höhe der Tauchung, also für die Höhe der Schüsselwand, ist der betriebsmäßige Winddruck im Generatorunterteil nebst ausreichendem Sicherheitszuschlag maßgebend. — Die Drehschüssel wird durch eine Schnecke über Exzenter und Klemmbackentreibrad angetrieben. Sie läuft auf Tragrollen und wird ringsum gegen seitlichen Druck durch Führungsrollen gehalten. Für diese Rollen ist es wichtig, daß sie der starken Belastung entsprechend stark gelagert und ständig zuverlässig und gut geschmiert sind. Bei Kleindrehtrostgeneratoren ersetzt Humboldt-Deutz die Tragrollen auch durch ein die ganze Schüssel tragendes, ringförmiges Kugellager mit lose liegenden Kugeln<sup>3)</sup>, das, aus zwei übereinandergreifenden Rinnen bestehend, zugleich die seitliche Führung ergibt. — Nur bei dem Wellmann-Generator mit drehendem Schacht

<sup>1)</sup> Dr. C. Otto u. Cie., DRP. 650 840.

<sup>2)</sup> F. Lüth, Mitt. 172 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

<sup>3)</sup> Humboldt-Deutz, DRP. 628 857.

hat die Drehschüssel keinen Antrieb, da sie von der drehenden Brennstoffsäule mitgenommen wird, sie hat aber eine Feststellvorrichtung (S. 49).

Die Schlacke wird, wie erwähnt, zwischen Rost und Tauchring in Bewegung gehalten und, soweit erforderlich, werden zu große Schlackenbrocken zerdrückt. Da die Schlacke unter dem Tauchring hinweg in den äußeren Schüsselraum geschoben werden muß, muß der engste Abstand zwischen Rost und Tauchring etwas kleiner sein als die lichte Höhe zwischen Unterkante Tauchring und Schüsselboden. Dies gilt nicht bei den Fräserrosten, wegen der ganz anderen Maßverhältnisse und Schlackenbearbeitung.

Die sich im Außenring der Schüssel sammelnde Schlacke wird durch Aschenräumer aus der Schüssel gefördert. Dies sind pflugartige Bleche, die schräg entgegen der Drehrichtung stehen, den Querschnitt zwischen Schüsselrand und Tauchring möglichst vollständig ausfüllen und am Tauchring, am Generatormantel oder den Tragsäulen befestigt sind bzw. bei drehendem Mantel an einer außen frei stehenden Säule. Es wird entweder 1 Aschenräumer eingebaut oder 2 gegenüberstehende, oder auch 1 Aschenräumer, der durch mehrere verteilt angeordnete Hilfsschaufeln unterstützt wird (Pintsch), die die Schlacke nur lockern und nach außen drängen. Die Aschenräumer sind feststehend oder auch in der Höhe durch Schraubgang verstellbar. Je nach Zahl und Tiefe der Aschenräumer muß natürlich die Umlaufgeschwindigkeit eingestellt und deren etwaiger Änderung angepaßt werden. Zu scharf austragende Räumer bewirken u. U. unerwünschte Verwerfungen des Schlackenbettes.

Fast allgemein üblich ist, wie erwähnt, die nasse Austragung, bei der die Schlacke in der Wasserfüllung der Drehschüssel abgelöscht und naß ausgetragen wird. Eine Sonderform zeigt die halbtrockene Austragung des Lurgi-Tischrostgenerators (vgl. Abb. 44). Die Austragung an sich ist auch naß, die Schlacke liegt aber zunächst trocken auf dem über dem Wasserspiegel drehenden Rostteller, von dem sie erst in das Schüsselwasser, abgestreift wird, nachdem sie durch den Wind weitgehend abgekühlt ist. Einerseits wird dadurch die gleichmäßige Lagerung des lockeren, trockenen Aschebettes erleichtert, andererseits aus Rücksicht auf die Brennstoffnässe zu starke Wasserverdampfung vermieden.

Auch ganz trockene Aschenaustragung wird angewandt, und zwar dann, wenn die Asche beim Zusammentreten mit Wasser zum Zementieren neigt. Dies ist bei einigen rheinischen Braunkohlenbriketts der Fall. Der Unterteil dieses Generators muß dann geschlossen ausgeführt werden, die vom Drehteller abgestreifte Asche fällt in einen oder zwei Aschesäcke — ähnlich wie bei den Wassergasgeneratoren —, die zeitweise entleert werden. — Diese Bauart ist auch dann in Gebrauch, wenn der Gaserzeuger aus Betriebsgründen (Gasverwendung) mit hohem Druck arbeiten muß, so daß eine entsprechend hohe Tauchung zu umfangreich

würde. Abb. 47 zeigt einen Bamag-Hochdruckgenerator mit trockener Aschenaustragung.

Die Windzuleitung zum Rost führt durch das Fundament von unten in den Rost. Den Übergang zu dem Drehteller bildet meist eine Wassertauchung (vgl. die versch. Abb.), die gut gegen Einfall von Schlackenteilen geschützt sein muß. Neuerdings wird statt der Tauchung auch eine Stopfbüchsenanordnung ausgeführt (Lurgi, Demag u. a., Abb. 24, 30). —

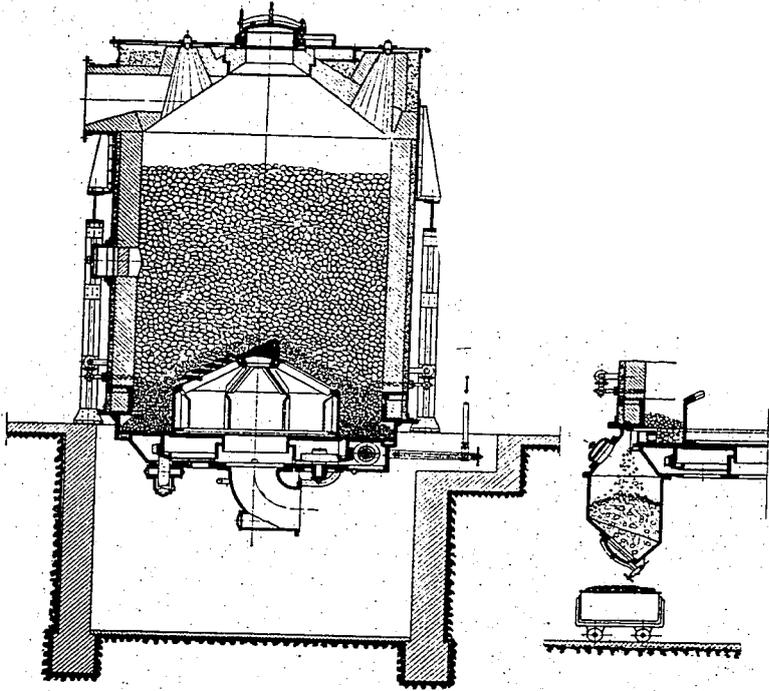


Abb. 47. Hochdruckgenerator mit trockener Entschlackung.

Windzuleitung nicht nur durch den Rost, sondern auch ringsum am Mantel wird nur vereinzelt bei größeren Generatordurchmessern angewandt (vgl. Abb. 11, 15), ist aber bei guter Rostausbildung und Schlackenlagerung im allgemeinen nicht erforderlich.

e) *Betrieb und Regelung der Generatorenanlagen.*

Über die Zuführung der Vergasungsluft (Windzufuhr) zu den Gaserzeugern berichtet umfassend G. Neumann<sup>1)</sup>. Ansaugung der Luft durch Kaminzug oder durch in den Gasstrom eingebaute Saugzug-

<sup>1)</sup> G. Neumann, Mitt. 101 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

gebläse wird als völlig veraltet bezeichnet. Dampfstrahlgebläse (Injektoren), die vor allem in den Hüttenbetrieben gebräuchlich waren, werden als Dampffresser gekennzeichnet, die nicht nur durch überschüssigen Dampf unwirtschaftlich arbeiten, sondern auch infolge dieses Überschusses ein schlechtes Gas ergeben. Dampfstrahlgebläse können deshalb höchstens noch als Ersatzanlage für Stromstörungen am Gebläse empfohlen werden, wenn kein zuverlässiger Ersatzstromanschluß oder Dampfturbinenreserve vorhanden ist.

Die jetzt allgemein übliche Form der Windzufuhr ist das elektrisch oder durch Dampfturbinen angetriebene Unterwindgebläse, sofern nicht in Großbetrieben Wind von Kolbengebläsen mit zur Verfügung steht. G. Neumann<sup>1)</sup> bringt ausführlichere Angaben über Berechnung der Druckverhältnisse in den Gaserzeugern und in den Windleitungen sowie über die Antriebsart und Drehzahlregelung von Schleudergebläsen. Zu letzteren Fragen ist auch auf die Ausführungen über Turbosauger und Drehzahlregelung zu verweisen<sup>2)</sup>.

Um in den Generatoren höhere Drücke zu vermeiden, die durch unvermeidliche Undichtheiten an den Füllstutzen und Stocheinrichtungen und vor allem beim Öffnen solcher Verschlüsse zu Belästigungen der Bedienung führen würden, sind neuerdings meist kombinierte Wind-Gas-Gebläse in Gebrauch, die auf derselben Motorwelle außer dem Windrad ein Gas-Turbogebälse tragen, das das Gas vom Gaserzeuger absaugt und zur Verwendungsstelle drückt. Der Gasdruck im Generator wird dann auf höchstens 20 mm gehalten und der Druck in der Weiterleitung kann dem Verwendungszweck beliebig angepaßt werden.

Zur Vermeidung von unerwünschten Schwankungen oder Überschüssen in der Erzeugung ist eine Regelung der Windmenge in Abhängigkeit vom Gasbedarf bzw. dem Gasdruck notwendig. Die einfachste und dabei zuverlässigste Form ist die Glockenregelung durch zwei Glockenregler für Gas und Wind. Der auf den Verbrauchsdruck eingestellte Gasglockenregler öffnet z. B. bei Druckabfall am Ofen einen Gasabgabeschieber zur Verbrauchsstelle im erforderlichen Maße, der dadurch vor diesem Schieber abfallende Druck beeinflußt den Windglockenregler zum Öffnen des Windschiebers. Diese Anordnung ist im Abschnitt »Regler«<sup>3)</sup> genauer beschrieben und abgebildet. Ebenso ist es natürlich möglich, mit einem der in demselben Abschnitt angeführten hydraulischen Regler entsprechende Drosselklappen in der Gas- und Windleitung zu betätigen, wobei der Impulsdruck meist über eine Membran auf den Stellzylinder eines Ölpumpwerkes od. dgl. und dadurch auf den Stellzylinder der Drosselklappe wirkt<sup>4)</sup>.

1) G. Neumann, Mitt. 101 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

2) Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 11, 38.

3) Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 52.

4) Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 29.

Die für den Halbwassergasbetrieb (Luftwassergasbetrieb) notwendige Windbefeuchtung wird im allgemeinen mit direktem Dampfzusatz erreicht, wozu bei Dampfkesselgeneratoren natürlich nur Eigendampf in Frage kommt. Der Dampfzusatz wird meist in die Windleitung kurz vor deren Einführung in das Generatorfundament oder in den Unterbau eingeleitet, so daß keine wesentliche Abstrahlung oder Wasseraus Kühlung mehr erfolgen kann. Vereinzelt, bei kleinem Pilzrost, werden außer dem zentral mit dem Wind eintretenden Dampf zusätzliche Dampfdufen durch den Generatormantel eingebaut<sup>1)</sup>. Diese bezwecken, ebenso wie die seitliche Dampf-Luft-Einführung in verschiedenen Generatoren (Abb. 24, 30) möglichst gleichmäßige Verteilung auf das ganze Schlackenbett.

Der Wind kann auch durch Überleiten über heißes Abwasser teilweise oder ganz aufgesättigt werden<sup>2)</sup> (vgl. auch Abb. 51). Bei Vorhandensein anderer Wärmequellen kann auch der Unterwind vorgewärmt und durch Einspritzen von Kaltwasser gesättigt werden (Poetter, S. 117).

Explosionsgefahren sind im Ge-

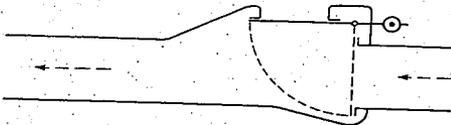


Abb. 48. Sicherheits-Rückschlagklappe für Windleitung.

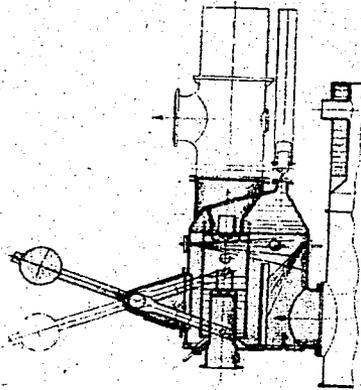


Abb. 49. Umschaltventil zum Umstellen des Gaserzeugers auf Stillstand.

neratorenbetrieb verhältnismäßig selten. Bei Stromstörungen besteht die Möglichkeit, daß die Gasbildung infolge Wasserverdampfung trotz Ausbleiben des Windes noch fortschreitet und, bevor die Ableitung über Dach geöffnet ist, das Gas unter den Rost tritt und dadurch bei Wiederanfahren ein Gas-Luft-Gemisch in die Feuerzone kommt. Die dabei vorkommenden Verpuffungen schlagen im allgemeinen ohne Schaden durch die Wassertauchungen des Generators durch. In größeren Betrieben werden aber doch auch Explosionssicherungen vorsorglich eingebaut. Eine solche Rückschlagklappe zeigt Abb. 48. Der Betriebswinddruck hält die durch das Gegengewicht nicht ganz ausgewuchtete Klappe in waagerechter Stellung geschlossen. Bei Ausbleiben des Winddruckes fällt die Klappe vor die Windöffnung und etwa zurücktretendes Gas kann nach oben entweichen. — Ferner werden immer an verschiedenen Stellen der Leitun-

<sup>1)</sup> Dr. C. Otto u. Cie. DRP. 650840.

<sup>2)</sup> F. Lüth, Mitt. 172 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

gen, besonders an der Windleitung, Reißblenden aus Segeltuch oder sehr dünnem Blech eingebaut, die bei etwa entstandener Explosion in solcher Leitung durchschlagen.

Für den Fall von Stromstörungen, durch die der Winddruck ausbleibt, oder für betriebsbedingtes Ausschalten des Gaserzeugers ist im allgemeinen ein durch Schieber verschlossenes, über Dach führendes Kaminrohr dem Ausgang gegenüber angeschlossen. Bei dessen Öffnung muß der Gasabgangsschieber hinter dem Generator oder Wäscher geschlossen oder im Wäscher eine Wassertauchung hergestellt werden. — In sehr einfacher und schneller Weise ist diese Umschaltung ermöglicht durch das Deutz-Umschaltventil (Abb. 49), bei dem durch eine Hebelbewegung jeweils der Gasweg oder der Kamin mit Wassertauchung verschlossen wird.

#### ζ) Kühlung und Reinigung des Generatorgases.

Die Kühlung und Reinigung des Generatorgases ist verschieden zu behandeln bei teerfreien und teerhaltigen Gasen.

Teerfreie Gase, also solche von Koks, Schwelkoxen und Anthrazit, sind nur von Wasserdampf und Staub zu befreien. Die meisten Wäscher vereinigen beide Maßnahmen, z. B. alle mit unmittelbarer Kühlung arbeitenden Wäscher, bei denen Wasser in den Gasweg gesprüht oder gerieselt wird. Solche sind die Hordenwäscher — mit Horden ausgesetzte oder mit Füllkörpern aufgefüllte Waschtürme — und die Wasserschleierwäscher, in denen das Gas mittels geeigneter Einbauten durch Wassersprühkegel getrieben wird. Wasserschleierwäscher sind in stehender Form (z. B. Koppers) und rotierend (Feld-, Ströderwäscher u. a.) ausgeführt worden. Bauarten dieser Wäscher sind im Abschnitt »Gaskühlung« beschrieben<sup>1)</sup>. Auch Schleuderwäscher mit Wassereinspritzung werden für größere Gasmengen angewandt<sup>2)</sup>. Die Abscheidung von Staub und mitgerissenen Wassernebeln kann weiter noch vervollständigt werden durch Stoßabscheider, in denen das Gas mehrmals vor Blechwänden oder irgendeinem Füllmittel gestoßen und umgelenkt wird, oder durch Fliehkraftabscheider, in denen das wirbelnd geführte Gas Fremdkörper an der ruhenden Wand absetzt oder abfließen läßt. Wird das Gas nicht einem Kühler, sondern einem Abhitzekessel zugeführt, so wird auch zur Vermeidung von mechanischen Flugstaub-Scheuerwirkungen im Kessel ein Beruhigungsbehälter als »Trockenstaubabscheider« vor den Abhitzekessel gestellt (Demag). Dieser Abscheider muß möglichst für jeden Generator einzeln angeordnet werden.

Die Reinheitsforderung lautet im allgemeinen: höchstens 0,1 g teerfreier Staub im m<sup>3</sup>. Der praktisch erreichte Gehalt liegt meist wesentlich unter dieser Grenze. Bei starkem Staubgehalt oder sehr weitgehen-

<sup>1)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 78/80.

<sup>2)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 93.

den Reinheitsanforderungen kann auch die Einschaltung eines Elektrofilters notwendig werden<sup>1)</sup>.

Das Kühlwasser kann, da oft eine vollständige Abkühlung betrieblich nicht erforderlich ist, auch geklärt, rückgekühlt und wieder zu den Kühlern gepumpt werden. Über Rückkühlanlagen wurde gesondert berichtet<sup>2)</sup>.

Solches Kühlwasser reichert sich allerdings im Kreislauf der Rückkühlanlage durch Luftoxydation des Schwefelwasserstoffs unter Umständen so stark mit  $H_2SO_3$  und  $H_2SO_4$  an, daß das angesäuerte Wasser zu Korrosionen im Kühler führt. Dr. C. Otto u. Cie.<sup>3)</sup> vermeiden diese Störung durch Zugabe kleiner Mengen Kalkmilch zum Ablaufwasser vor der Klärung.

In Sonderfällen wird ein schwefelfreies Gas verlangt, z. B. bei Verwendung von Generatorgas in Lebensmittelbetrieben und in Betrieben,

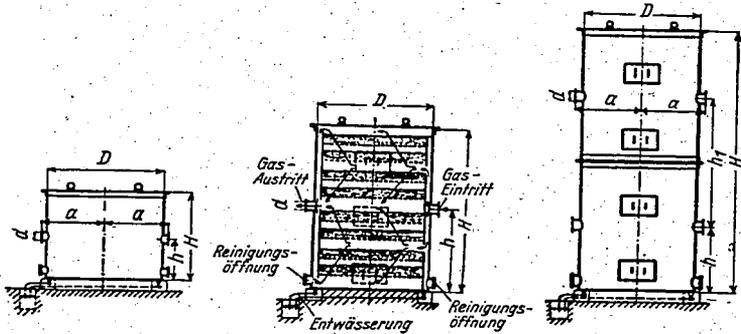


Abb. 50. Horden-Entschwefler.

die mit offenen Flammen arbeiten (Glasspinnerei, Löterei, Sengerei u. a.). Dann müssen Reiniger mit Füllung von Luxmasse oder Raseneisenerz verwandt werden. Die Füllung ist nach erfolgter Anreicherung, wie von der Gasreinigung bekannt, zu erneuern. Um großen Druckverlust durch die Reinigungsmasse zu vermeiden, muß die Masse in nicht zu dicke Lagen aufgeteilt und der Gasstrom möglichst durch mehrere Lagen parallel geleitet werden. Für Großanlagen wird auf den Abschnitt über Gasreinigung verwiesen<sup>4)</sup>. — Für kleinere und mittlere, gegebenenfalls auch für größere Leistungen, baut u. a. Humboldt-Deutz stehende Entschwefler in verschiedener Höhe (Abb. 50). Raffloer-Entschwefler eignen sich auch besonders für kleinere Anlagen, sie sind mit

<sup>1)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 97.

<sup>2)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 81.

<sup>3)</sup> Dr. C. Otto u. Cie. DRP. 545331.

<sup>4)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 2, S. 229.

Reinigungsmassekügeln gefüllt, die große Oberfläche und geringen Druckwiderstand ergeben.

Teerhaltige Gase können je nach den an die Teergewinnung gestellten Anforderungen verschieden behandelt werden.

Der einfachste und vor allem in kleineren Betrieben sowie bei nicht sehr weitgehenden Reinheitsanforderungen üblichste Weg ist der, das Gas zunächst in einem indirekten Kühler, z. B. einem Röhrenwasserkühler, vorzukühlen, wobei ein Mischkondensat von Wasser und Teer oder Teeröl anfällt, und dann in einem ölberieselten, rotierenden Schlagwäscher (Theisenwäscher, Desintegrator)<sup>1)</sup> die restliche Teerwaschung vorzunehmen.

Bei größeren Gasmengen und weitgehend geforderter Teerentfernung kann auch mit Elektroteerscheidern gearbeitet werden, bei denen die Wasser- oder Teernebel im Gas durch ein Feld von hochgespanntem Gleichstrom ionisiert und niedergeschlagen werden<sup>2)</sup>. Diese Teerentfernung ist besonders bei Braunkohlengeneratorgasen auch zweistufig in Gebrauch. Die Heißstufe arbeitet mit über 100° und scheidet einen wasserfreien, paraffinreichen Teer aus; nach einer indirekten Zwischenkühlung wird in der Kaltstufe in einem gleichen Elektroteerscheider das Leichtöl mit restlichen Wasserdämpfen ausgeschieden. Diese getrennte Behandlung ist auch deshalb von großer Wichtigkeit, weil ein in einer Stufe gewonnenes Dickteer-Wassergemisch aus Braunkohlen schwer oder u. U. gar nicht vollständig zu trennen ist.

#### c) Leistung und Kontrolle von Generatorenanlagen.

##### α) Bau- und Leistungsgarantien.

Die an Zentralgeneratoren zu stellenden Anforderungen sind festgelegt einerseits in Regeln für die Abfassung von Garantieforderungen bei Vergebung von Generatorenaufträgen, andererseits in Regeln zum Nachweis dieser Garantien durch Leistungsversuche nach Inbetriebnahme. Für Deutschland bestanden solche Regeln in einer Fassung des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern als »DVGW-Normen« bezeichnet, in der 1930 vorläufig abgeschlossenen Fassung<sup>3)</sup> und in den 1932 veröffentlichten Richtlinien des Kokereiausschusses des Vereins für die bergbaulichen Interessen und des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute<sup>4)</sup>. Beide Vorschriften zeigen naturgemäß einen im wesentlichen übereinstimmenden Aufbau. Als Unterschiede sind u. a. zu erwähnen:

Die DVGW-Normen fordern als Endglied die Ermittlung des Vergasungswirkungsgrades, wobei für die Gasmenge die Kohlenstoffbilanz

<sup>1)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 93.

<sup>2)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 97.

<sup>3)</sup> Gas- u. Wasserfach 73 (1930), S. 577.

<sup>4)</sup> Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 841 — Verlag Glückauf 1932.

und für den Heizwert die kalorimetrische Bestimmung aus der Tagesdurchschnittsprobe zugrunde gelegt wird. Die Kokereiausschuß-Richtlinien sehen drei Wirkungsgradberechnungen vor, nämlich 1. den thermischen Wirkungsgrad, 2. den Nutzungswirkungsgrad, 3. den Vergasungswirkungsgrad. Der Vergasungswirkungsgrad gibt, ebenso wie bei der DVGW-Norm, die in Gasform gebundene, gewonnene Wärmemenge an. Der thermische Wirkungsgrad, bei dem zunächst der Wärmeinhalt des Überschußdampfes mit als Wärmegewinn erscheint, soll weiter auch die fühlbare Wärme des abziehenden Gases mit einschließen. Diese Erfassung hat zwar für den Einbaugenerator Berechtigung, beim Zentral-generator ist sie aber nur ein theoretischer Begriff. Als Nutzungswirkungsgrad wird noch ein auf den betrieblichen Sonderfall besonders bezogener thermischer Wirkungsgrad bezeichnet, der noch etwaige weitere in der Anlage auftretende Wärmeabgänge oder -gewinne einschließen kann. — Die Kokerei-Richtlinien lassen die Gasmessung als Staurandmessung (mit »scharfkantiger Blende«) ausführen und empfehlen kalorimetrische Heizwertmessung. Diese Richtlinien beziehen sich nur auf die Koksvergasung, während die DVGW-Normen die Vergasung von Braunkohlenbriketts als Anhang mitbehandeln.

In weiterer gemeinsamer Arbeit wurden die Vorschriften dieser Verbände zusammengelegt in der 1938 bekanntgegebenen<sup>1)</sup> Dinorm-Vorschrift DIN 1950, Regeln für Gewährleistungen und Abnahmeversuche an Gaserzeugern für Vergasung von Koks. Die wesentlichen Forderungen dieser Vorschrift sind folgende:

1. Die Gewährleistungen, die bei Vergabungen zu fordern sind:

Diese beziehen sich auf Brennstoffdurchsatz, Gasbeschaffenheit, Vergasungswirkungsgrad, Verbrauch an Dampf, Kühlwasser und Kraft.

Für den Vergasungskoks ist anzugeben die Herkunft, der Höchstgehalt an Wasser und Asche und die Körnung in üblichen Handelsbezeichnungen, dabei der Grusgehalt 0—10 mm und der Anteil unter 3 und unter 1 mm.

Der Brennstoffdurchsatz ist in t Rohkoks je Tag oder in kg Rohkoks je m<sup>2</sup> Schachtquerschnitt und Stunde zu rechnen.

Für die Gasbeschaffenheit ist der untere Heizwert in kcal/Nm<sup>3</sup> festzulegen, der Staubgehalt in g je Nm<sup>3</sup> und der Gasdruck an zu vereinbarender Gasverbrauchsstelle. Für die Gastemperatur wird, um örtlichen Voraussetzungen gerecht zu werden, nur die Temperaturdifferenz zwischen Gasaustritt und Kühlwassereintritt angegeben.

Betr. Vergasungswirkungsgrad wird auf die Leistungsversuchsbedingungen verwiesen. — Zum Verbrauch an Dampf und Kühlwasser und Kraft ist bestimmt: Fremddampfbedarf wird in kg/kg durchgesetz-

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 81 (1938), S. 344.

ten Reinkoks garantiert, Eigendampferzeugung als Erzeugung und Selbstverbrauch in kg/kg Reinkoks nebst Angabe von Dampfdruck und Temperatur. Kühlwasser und Kraftverbrauch werden auf die t durchgesetzten Reinkoks bezogen, der Kraftverbrauch möglichst auf Arbeitszwecke unterteilt.

Hinsichtlich Abweichung sind für jede Bedingung 3% vom Sollwert zugelassen; nur Durchsatzleistung und Wirkungsgrad dürfen entweder zusammen oder nur eines von beiden die Abweichung von 3% zeigen.

Sind betriebsmäßig irgendwelche Bedingungen nicht zu erfüllen, so kann auch eine Gesamtwirtschaftlichkeit der Anlage ermittelt und anerkannt werden, wenn sie nicht schlechter ist, als sie sich bei Erreichung aller Werte ergeben würde.

## 2. Abnahmeversuche zum Nachweis der Gewährleistungen:

Verlangt werden Versuche von 3mal 24 h mit täglichen Zwischenabschlüssen; sie dürfen nur nach Erreichung eines gleichmäßigen Beharrungszustandes mit dem Versuchsbrennstoff ausgeführt werden. Versuche sind zulässig. Der Koks wird nach Menge und Körnung gewogen, Proben genommen und untersucht auf Körnung, Wasser, Asche, Reinkoks, C-Gehalt und Heizwert.

Auf die Gasbeschaffenheit wird besonderer Wert gelegt, deshalb ist die Probenahme und deren Gleichmäßigkeit, die kalorimetrische Heizwertbestimmung, die Untersuchung auf CO<sub>2</sub>-Auswaschung im Wäscher und auf Staubgehalt, sowie die Überwachung auf Heizwertschwankungen besonders wichtig. Von der Schlacke und dem Staubanfall sind Anfallgewicht und Gehalt an Wasser und Verbrennlichem zu ermitteln.

Der Dampf wird nach den VDI-Regeln, Wasser und Kraft mit üblichen Meßgeräten bestimmt.

Der Vergasungswirkungsgrad wird zunächst ohne Rücksicht auf die Art der Gasmengenermittlung definiert durch den Ansatz:

$$\eta_{\text{vergas.}} = \frac{\text{kcal im Gas}}{\text{kcal im Reinkoks}} \cdot 100\%$$

Die Gasmenge kann mit der scharfkantigen Blende (Normblende nach Din 1952) bestimmt werden, in der Regel ist aber die Berechnung nach der Kohlenstoffbilanz maßgebend. Für diese Berechnung muß der vergaste Kohlenstoff mit der größten Genauigkeit festgestellt werden. Von dem C im Brennstoff werden die C-Verluste in der Schlacke, im Flugstaub und im Schlamm abgezogen und dann ergibt sich die Gasmenge zu

$$Q = \frac{\text{vergaster C}}{\text{C-Gehalt in 1 Nm}^3 \text{ Gas}} \text{ Nm}^3.$$

Der C-Gehalt des Gases folgt aus der Gasanalyse, indem die aus der Durchschnittsanalyse des Tages bestimmten %-Sätze C-haltiger Gase

(CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) addiert und je m<sup>3</sup> mit 0,535 kg eingesetzt werden; z. B. folgt für ein Gas mit 5,0% CO<sub>2</sub>, 28,0% CO und 0,4% CH<sub>4</sub> ein Gehalt an C-haltigen Gasen von 33,4%, 1 m<sup>3</sup> enthält dann 0,334 · 0,535 kg = 0,179 kg C. Dieser Wert, in den wirklich vergasteten Reinkoks dividiert, ergibt die Gasmenge nach der Kohlenstoffbilanz.

Für die Dampfmessung gelten wieder die VDI-Regeln Din/VDI 1952. Die erzeugte Dampfmenge wird am sichersten durch Messung des Speisewassers gefunden, der Überschußdampf bzw. verbrauchter-Fremddampf werden möglichst durch Dampfmesser gemessen oder mit Dampfblende nach obengenannter Norm. Auch Überschußdampfmessung durch Kondensation des Dampfes wird als zuverlässig empfohlen, doch ist hierzu ein wirklich ausreichender Kühler bereitzustellen.

Diese allgemeingültigen Vorschriften erfassen, wie erwähnt, ebenso wie die Kokereiausschußvorschriften nur die Koksvergasung. Die von der DVGW-Norm für Brikettvergasung gegebenen Sondervorschriften verlangen zusätzlich noch folgende Bestimmungen:

**Brennstoff:** Die Briketts eines Versuches sollen gleicher Herkunft und gleicher Form und Größe sein und nicht lange gelagert haben.

**Anfall von Teer:** Zur Mengenfeststellung sollen im Teerscheidebehälter zum Versuchsabschluß gleiche Verhältnisse vorliegen, wie zu Beginn. Von einer Teerdurchschnittsprobe sind Wassergehalt, C-Gehalt und Heizwert zu bestimmen.

**Vergasungswirkungsgrad und C-Bilanz:** Zu den C-Abgängen ist noch der C im Teer beizufügen. —

Eine in vorstehenden Vorschriften nicht enthaltene weitere Form des Wirkungsgrades bringt noch der Gaskursus<sup>1)</sup> unter dem Namen »Wirtschaftlicher Wirkungsgrad«. Er stellt eine durch Einsetzen der Kaufpreise und Erlöse erhaltene Bilanz der Generatorgaserzeugung dar, die zum Vergleich verschiedener Brennstoffe in derselben Anlage wertvoll ist.

Für Italien sind ebenfalls Normen für Garantien und Abnahmeversuche an Generatoren festgelegt<sup>2)</sup>.

### *β) Ausführung von Leistungsversuchen.*

Leistungsversuche an Generatorenanlagen sind betrieblich oft schwer durchzuführen, aber ihre Bedeutung sollte nicht unterschätzt werden, da sie außer dem liefervertragsmäßig notwendigen Leistungsnachweis dem Betrieb noch wertvolle Unterlagen geben können. Sie geben z. B. Auskunft über die den Generatoren zuzumutenden Belastungsgrenzen, über die bei Über- oder Unterbelastungen noch trag-

<sup>1)</sup> K. Bunte u. A. Schneider, Zum Gaskursus, München 1927, S. 47.

<sup>2)</sup> Acqua e Gas, 1935/6, S. 181.

baren Verschlechterungen des Wirkungsgrades, über die Grenzen der geeigneten Körnungen oder Körnungszusammenstellungen u. a. m.

Ein klassisches Beispiel einer sorgfältig durchdachten und eingerichteten Versuchsanlage war die aus 5 verschiedenen Generatortypen bestehende Generatorenanlage in München. Über die an dieser Anlage in den Jahren 1927, 1929 und 1931 ausgeführten Leistungs- und Vergleichsversuche berichtete E. Schumacher<sup>1)</sup>. Diese über den Rahmen des eigentlichen Leistungsnachweisversuches hinausgehenden Arbeiten bezweckten insbesondere Feststellungen über die Wärme- und Kohlenstoffbilanz, über die Belastbarkeit und die Abhängigkeit des Druckverlustes, der Gasbeschaffenheit und des Vergasungswirkungsgrades von der Belastung, ferner über die Wasserbilanz der Hochdruckkessel und die Wärmebilanz der Sättiger und Kühler. Ein Grundgedanke war dabei

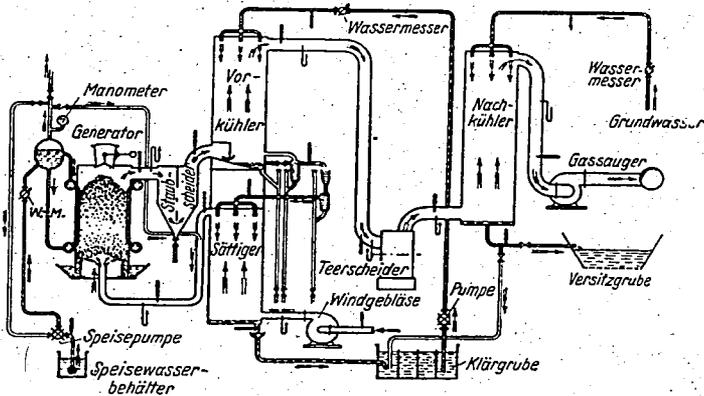


Abb. 51. Versuchsanordnung für Leistungsversuche an einer Generatorenanlage.

der, die betriebsmäßig bedingten Gasmengenschwankungen in der günstigsten Form auf einen bis zwei Generatoren zu legen und die größere Zahl auf optimaler, gleichmäßiger Belastung zu belassen. Bei den noch nach der DVGW-Vornorm vorgenommenen Versuchen, deren Gesamtanordnung in Abb. 51 gezeigt ist, wurden folgende Bestimmungen ausgeführt:

Koks: Gewichtsfeststellung durch Voll- und Leerwägung der etwa 1,3 t fassenden Kübel auf einer dazu geeigneten Waage, Probenahme mittels Stielbecher beim Entleeren in den Füllkopf des Generators in Mengen von 0,5 Gew.-% des Koksdurchsatzes (Tagesprobengewicht 100—150 kg), Probe zunächst in geschlossenen Blechkübeln gesammelt, dann im Vakuumtrockenschrank 20 h getrocknet, nach Rückwägung zur Körnungssiebanalyse gesiebt, wieder gemischt und nach dem üb-

<sup>1)</sup> Schumacher, Gas- u. Wasserfach 74 (1931), S. 1121.

lichen Teilverfahren (gemäß Vorschrift Din DVM 3711) für die Laboratoriumsproben aufbereitet.

**Verbrennungsrückstände:** Von der in tarierten Kippwagen abgefahrenen und gewogenen Asche wurde zweistündlich Probe in geschlossene Blechkübel genommen, in Menge von etwa 2,5% des Tagesanfalles (40 bis 50 kg/Tag). Die Probe wurde ebenfalls im Trockenschrank getrocknet, zerkleinert und auf Kleinprobe eingeengt. Entsprechend wurden Proben der gewogenen Flugstaub- und Schlammanfälle genommen und aufbereitet und auf Verbrennliches untersucht.

**Gas:** Zwei mittels Kubizierapparats geprüfte Gasbehälter von je 700 l wurden halbtägig wechselnd mit Durchschnittsprobe gefüllt; die Menge und die Unterbrechung sicherten ausreichende Untersuchungszeit und genügende Zahl der Vergleichsuntersuchungen auf Gaszusammensetzung, berechneten und kalorimetrischen Heizwert. Letztere stimmten meist gut überein. Außerdem wurde die erzeugte Gasmenge zum Vergleich mit den rechnerischen Verfahren gemessen durch einen ausreichenden, vorher mehrfach geprüften Glockengasmesser. Die Errechnung der Gasmenge nach der Kohlenstoffbilanz wurde unter peinlichster Erfassung aller Kohlenstoffverbräuche und -verluste ermittelt. Der Vergleich der beiden Meßverfahren ergab eine ziemlich befriedigende Übereinstimmung. Die Abweichung der beiderseitigen Bestimmungen vom Mittelwert lag etwa je zur Hälfte der Versuche nach plus und minus. Nach später von E. Hecker von derselben Anlage berichteten<sup>1)</sup> ähnlichen Vergleichsversuchen zwischen Kohlenstoffbilanz und Stationsgasmesser ergab sich die Volumenmessung in der Uhr durchweg etwas höher als die Kohlenstoffbilanz-Rechnung. Dieser Mehrwert sank aber mit steigender Belastung ab, etwa von 5 auf 1%, infolgedessen wurde die Kohlenstoffbilanz ebenfalls als maßgebend angenommen. — Zu der genauen Erfassung aller Kohlenstoffabgänge gehört auch die etwas umstrittene CO<sub>2</sub>-Auswaschung aus dem Gase im Wäscher. Schumacher konnte in den zahlreichen Versuchen keinen gleichbleibenden Unterschied im CO<sub>2</sub>-Gehalt vor und nach dem Wäscher feststellen, rechnete aber mit 0,5% CO<sub>2</sub>-Auswaschung. Diese Berücksichtigung deckt sich mit andernorts gemachten Feststellungen<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>. Es ist denkbar, daß je nach Bauart des Wäschers, Temperaturgrenzen und Wasserbeschaffenheit die Voraussetzungen für eine Auswaschung wechseln; so scheint umgepumptes, rückgekühltes Wasser weniger CO<sub>2</sub> auszuwaschen. Auch während des Aufenthaltes der Gasprobe im wassergefüllten oder noch Wasser enthaltenden Aspirator findet noch CO<sub>2</sub>-Auswaschung statt. Von den zwischen 0—1% schwankenden Betriebswerten hat der übliche Mittelwert 0,5% die Bedeutung,

<sup>1)</sup> E. Hecker, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 330.

<sup>2)</sup> F. Wehrmann, Gas- u. Wasserfach 71 (1928), S. 1253.

<sup>3)</sup> R. Mezger, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 825.

daß seine Vernachlässigung einen um 1—1,5% zu hohen Vergasungswirkungsgrad ergibt.

Unterwind und Windfeuchtigkeit: Eine Windmengenmessung durch Staudoppelrohre mit Anzeige- und Schreibgeräten zeigte sich als nicht zuverlässig gegenüber der Rückrechnung aus Gasmenge und  $N_2$ -Gehalt des Gases und Rohkokes. Die Windfeuchtigkeit stammte bei dieser Anlage aus der mitgebrachten Luftfeuchtigkeit, der Wasserdampfaufnahme im Sättiger und zusätzlichem Dampf. Das Wind-Dampf-Gemisch wurde noch überhitzt. Zur Prüfung diente eine Kondensationsapparatur für eine abgezweigte Windprobe, bestehend aus Wasserkühler, Abscheider mit Prallwand, Druck- und Temperaturmessung und einem Gasmesser für die gesättigt abgehende Windmenge. Die Messungen ergaben an den Entnahmestellen ohne Überhitzung gute Übereinstimmung mit dem Taupunkt, also mit der der abzulesenden Temperatur entsprechenden Sättigung.

Auch über andere, sehr eingehende Leistungsversuche liegen in der Literatur Berichte vor, so von Stuttgart, München, Berlin<sup>1) 2) 3)</sup>, ferner in großer Zahl Werks- und Firmenversuche.

Die bei den Münchener Versuchen verwandten Bestimmungsverfahren für die Unterlagen des Leistungsnachweises stellen eine Bestform dar, dürften jedoch in sonst üblichen Fällen nicht immer anwendbar bzw. zu teuer sein.

Bei Vereinfachung des Versuchsganges muß aber doch für den jeweiligen Fall eine möglichst zuverlässige Form gesucht werden. Die Brennstoffmessung und Probenahme muß vor allem den Betriebsverhältnissen angepaßt werden. Gerade hier sollte bei jeder Neuanlage oder Modernisierung besonderer Wert gelegt werden auf jederzeitige Möglichkeit genauer Verbrauchsmessung. Die sicherste und vor allem für den laufenden Betrieb einfachste Form ist der Einbau einer Waage in die Laufschiene des Füllwagens oder bei großen Ofentypen in den Füllwagen selbst. Sonst müssen wenigstens genügend unterteilte Bunker vorhanden sein, die, jeweils nicht übermäßig gefüllt, einen zuverlässigen Zwischenabschluß durch Abziehen und Wägen des Restbestandes ermöglichen. — Zur Koksprobenahme ist ebenfalls die den örtlichen Verhältnissen am besten entsprechende Art zu wählen, aus jedem gewogenen Füllwagen oder aus jedem x ten Becher des zu den Bunkern zubringenden Becherwerkes, unter Uhrbeobachtung mittels Handschaufel vom zubringenden Förderband oder aus jedem Klappkübel od. dgl. Das Gesamtgewicht der Probe muß dann vom Durchsatzgewicht abgezogen werden. Die Einengungsvorschrift für die Probe wurde bereits erwähnt. Die Behandlung der Probe muß sich nach der Koksfeuchtigkeit richten, vor allem muß

<sup>1)</sup> R. Mezger, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 825.

<sup>2)</sup> E. Hecker, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 329.

<sup>3)</sup> H. Deneke, Gas- u. Wasserfach 77 (1934), S. 129.

Wasserverlust vor der Wägung und während der Aufbereitung vermieden werden. Am besten geschieht das, indem man die ganze Probe, auf tarierten Probeblechen gewogen, an staubgeschützter Stelle auf den Öfen oder sonstiger Heizanlage (Kesselhaus u. a.) sofort trocknet und nach Rückwägen aufbereitet. Eingehende Anweisung über Bestimmung der Koksfeuchtigkeit ist in Din DVM 3721 gegeben, für die Koksheizwertbestimmung in Din DVM 3716. Die tägliche Koksprobe soll mindestens Gesamtwasser, Asche und Reinkoks angeben; für C-Gehalt und Heizwert genügt Untersuchung einer Gesamtdurchschnittsprobe. — Über die Prüfung der Körnung sind je nach den gegebenen Garantien Vereinbarungen zu treffen; es können die Gewichte der getrennt geförderten Körnungen angenommen werden oder Siebanalysen der Einzel- oder Gesamtproben. Grusgehalt läßt sich zuverlässig nur durch Absieben getrockneter Durchschnittsproben mit vereinbarter Siebart bestimmen. Auf die besonderen Anforderungen für die Kohlenstoffbilanz wurde schon hingewiesen. Bei der Schlacke, dem Schlamm, Flugstaub u. dgl. ist wieder Wasserverlust während der Aufbereitung der Probe zu vermeiden. Wasserverlust vor der Wägung des Schlackenfalls hat keinen Einfluß. Von dem je 24 h getrennt gelagerten Schlackenfall wird die Probe beim Verladen genommen, um so größer, je grobstückiger die Schlacke ist. Die Schlackenanalyse (Wasser, Asche und Verbrennliches) bezieht sich auf den Zustand der Schlacke beim Verwiegen. Etwa vorher ausgelesener Schlackenkoks wird zweckmäßig vom Rohkoks durchsatz abgezogen, kann aber auch gesondert geprobt, untersucht und als C-Abgang gerechnet werden.

Die für die Gasbeschaffenheit maßgebende Probe muß eine wirklich zuverlässige proportionale Durchschnittsprobe darstellen. Sie soll deshalb mittels genügend großen Aspirators genommen werden, der mit Abflußregler und Drückregler versehen ist. Der Heizwert kann von dieser Probe oder ständig registrierend oder durch Handbestimmungen in regelmäßiger Folge ermittelt werden (z. B. halbstündlich). Der aus der Analyse gerechnete Heizwert ist nicht zuverlässig, er soll deshalb zum rechnerischen Nachweis der Gewährleistungen nicht verwendet werden.

Auf Staubfreiheit des Gases wird besonderer Wert gelegt, weil hoher Staubgehalt einen der Hauptvorteile der Zentralgeneratorbeheizung wegnehmen würde, die Verhütung von Flugstaubverschmelzungen in den Ofenkanälen. Bei den meisten Ausführungen der Generatorenanlagen ist allerdings die Staubmenge so gering, daß ihre analytische Erfassung Schwierigkeiten macht. Verfahren für die Bestimmung geben die »Richtlinien für Leistungsversuche an Entstaubern«<sup>1)</sup>. Bei ins Gewicht fallenden Staubmengen muß das im teerfreien Staub enthaltene Verbrennliche in der Kohlenstoffbilanz als nicht vergaster Reinkoks gerechnet

<sup>1)</sup> VDI-Verlag, Berlin.

werden. — Die in Gaswerken üblichen Zentralgeneratoranlagen liefern im allgemeinen Gas mit weniger als 0,1 g Staub je m<sup>3</sup>.

Außer diesen Gesamtleistungsversuchen sind natürlich im laufenden Betrieb auch Teilversuche für Sonderzwecke möglich, bei denen nicht alle von der Norm verlangten Feststellungen betrieblich erfassbar oder auch nicht unbedingt notwendig sind. Vor zu weit gehender Vereinfachung der Versuchsarbeit muß aber gewarnt werden, weil dann das Ergebnis u. U. zu unzuverlässig oder ungenügend vergleichbar wird und die aufgewandte Arbeit nicht lohnt.

γ) Erreichte Leistungen (Leistungsgröße, Wärmebilanz, Wirtschaftlichkeit).

Über erreichte Leistungen von Gaserzeugern geben eine große Anzahl von Veröffentlichungen und von Leistungsversuchsberichten zuverlässige Zahlen an, von denen eine beliebig herausgegriffene Auswahl von Koksvergassungen in Zahlentafel 3 zusammengestellt ist, zwecks Übersicht über die vorkommenden Größenordnungen.

Zahlentafel 3.  
Leistungszahlen von Koksvergassungen.

Nr.	Generator φ in	Generator- mannei- bauart, alt	Körn- ung mm	Durchsatz t/Tag	Schacht- belastung kg/m <sup>2</sup> h	Gas- erzeugung Nm <sup>3</sup> /kg		Untere Heizwert kcal/m <sup>3</sup>	Dampf- erzeugung kg/kg	Vergasungs- wirkungsgrad (C-Bil., H <sub>2</sub> %)	Thermischer Wirkungsgrad %
						auf Roh- koks	auf Rein- koks				
1	3,0	Hoch- druck 20	18% <10—20	25	200	3,65	5,1	1200	0,46	77,0	86,0
2	3,0	20	30% <10—20	20	173	3,7	5,3	1175	0,49	76,4	85,2
3	3,0	25	10—20	37	220	4,0	—	1180	0,58	78,0	—
4	3,0	25	40—60	41	242	4,5	—	1090	1,18	75,6	—
5	2,6	10	21% <10—20	15	167	3,7	5,0	1175	0,42	75,1	82,0
6	2,6	20	17% <10—20	17	186	3,6	5,1	1170	0,78	76,5	87,1
7	2,2	10	21% <10—20	14	215	3,4	4,9	1203	0,56	75,0	84,8
8	2,1	10	15% <10—20	13	218	3,9	5,3	1150	0,85	80,7 (H <sub>2</sub> )	89,7 (H <sub>2</sub> )
9	3,0	Nieder- druck 0,5	6% 10—20	41	243	4,2	—	1174	0,60	78,6	—
10	2,6	0,5	20—40	16,5	130	—	—	1146	0,85	77,3	—
11	2,1	0,5	25% 10—20	9	110	3,6	—	1160	0,4	82,7	—
12	2,1	0,5	{ 30% 0—5 } { 10% 5—30 }	8	96	—	—	1195	1,44	76,0	—

Die für jeden Begriff teils gleichartigen, teils wesentlich unterschiedlichen Zahlen weisen darauf hin, daß verschiedene Betriebseinflüsse sich gegenseitig addierend oder aufhebend auswirken können.

Über derartige Einflüsse liegen auch Sonderversuchsreihen vor, so über den Einfluß der Körnung des Vergasungsmaterials. R. Mezger, Kratsch

und W. Baum<sup>1)</sup> stellten an einem Segment-Hochdruckröhrenkessel von 3 m Dmr. mit Abhitzeverwertung fest, daß mit steigender Körnung der Durchsatz und die Dampferzeugung steigen, auch die Gasausbeute je kg Brennstoff nimmt zu, aber der Vergasungswirkungsgrad nimmt ab, bedingt

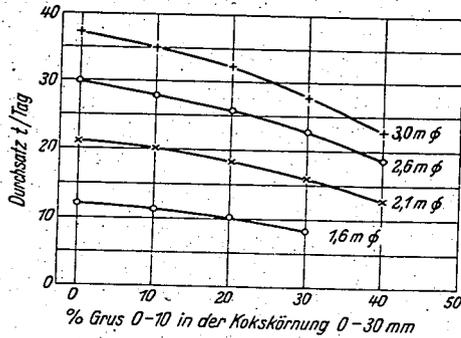


Abb. 52. Abhängigkeit der Generatorleistung vom Grusgehalt des Kokes.

durch höhere Wärmeabgänge zum Mantel und im Gas, stärkeren Randgaszoneneinfluß und höheren C-Verlust in der Schlacke. Andererseits steigt mit kleinerer Körnung die reagierende Oberfläche (Zahlentafel 4). Die Körnung 40/60 mm ist allerdings im Gaserzeugerbetrieb weniger üblich, viel mehr noch die Verwendung noch kleinerer Körnung, durch die der Durchsatz natürlich noch mehr zurückgeht. Abb. 52 zeigt z. B. den für Koppers-Generatoren verschiedener Schachtdurchmesser

bei steigendem Gruszusatz listenmäßig angegebenen Rückgang des Tagesdurchsatzes. — Der Vergasungswirkungsgrad verläuft aber dann nicht immer, wie nach Zahlentafel 4 anzunehmen wäre, bei kleinerer Körnung

#### Zahlentafel 4.

#### Einfluß der Körnung auf die Generatorleistung.

Körnung mm	Durchsatz kg/m <sup>2</sup> /h	Dampferzeugung kg/kg Koks	Gaserzeugung Nm <sup>3</sup> /kg	Vergasungswirkungsgrad (C-Bil., H <sub>2</sub> , %)
10/20	220	0,58	3,96	78,2
20/40	232	0,93	4,20	76,9
40/60	242	1,18	4,50	75,6

weiter steigend, sondern nimmt wieder ab, infolge des bei kleinerer Körnung abnehmenden Reinkoksgehaltes und der ungünstigeren physikalischen Bedingungen der Gasbildung. Bei genauer Versuchsdurchführung läßt sich für jeden dieser Einflüsse für den betr. Gaserzeuger der Bestwert feststellen.

Über sehr eingehende Leistungsversuche an einem Schwachgaserzeuger berichtet H. Wohlschläger<sup>2)</sup>; diese Versuche bezweckten Klärstellung der Abhängigkeit des Gasheizwertes und der Schlackenbildung von der Brennstoffbeschaffenheit und der Gaserzeugerbelastung. Luft-sättigung, Schichthöhe und Schachtbelastung wurden unter besonderer Beachtung der Gleichhaltung der Versuchsbedingungen und Versuchs-

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 825.

<sup>2)</sup> H. Wohlschläger, Feuerungstechnik 26 (1938), S. 102.

methoden ausgeführt. In allen Fällen zeigte sich, daß jeder dieser Einflüsse einen Bestwert des Gasheizwertes zwischen einem aufsteigenden und einem abfallenden Kurvenast bewirkt, sodaß z. B. eine günstigste Brennstoffkörnung, Brennstoffeuchtigkeit, Querschnittsbelastung, Luft sättigung usw. festzustellen ist. Die Änderung der Luftsättigung ist von viel anhaltenderer Wirkung auf die Gaserzeugung als z. B. eine Änderung der Belastung, der sich der Gang bei Wiederherstellung des Erstzustandes schnell wieder anpaßt.

Diese Versuche bezogen sich zwar vorwiegend auf die im Kraftbetrieb (bei Sauggasanlagen) vorliegenden Voraussetzungen, doch sind die in zahlreichen Kurventafeln<sup>1)</sup> wiedergegebenen Versuchszahlen zur grundsätzlichen Beurteilung der Vorgänge im Gaserzeuger allgemein wertvoll.

Weiter zeigte E. Hecker<sup>1)</sup> in Versuchen an einem Hochdruckgenerator 2,1 m Dmr., daß Vergasungs- und thermischer Wirkungsgrad bei Normallast am höchsten sind, bei Unter- und Überbelastung etwas abnehmen. Die Gesamtstreuung der  $\eta$ -Werte betrug allerdings nur 2—3%.

Es ist möglich, diese verschiedenen Einflüsse gegeneinander abzustimmen und z. B. bei sehr kleiner Körnung oder hohem Grusgehalt durch Verminderung des Durchsatzes ebenfalls zu normalem Wirkungsgrad zu kommen oder diesen sogar auf einen Bestwert zu bringen.

Steigender Dampfzusatz zum Unterwind steigert ebenfalls den Vergasungswirkungsgrad. Bei Generatoren mit Abhitzegegewinnung kann nach H. Deneke<sup>2)</sup> der Dampfzusatz bis 0,9 kg/kg Koks, also fast auf das Doppelte der Normalmenge, gesteigert werden, wobei allerdings der Zersetzungsgrad des Dampfes abnimmt; bei Fremddampfzusatz ist also Dampfsteigerung nicht ohne weiteres ratsam. — Die Höhe des günstigsten Dampfzusatzes untersuchten E. Terrès und Mitarbeiter<sup>3)</sup> und ermittelten sie zu 0,5—0,6 kg Dampf/kg Koks. Der darüber hinaus erzeugte Dampf beträgt je nach Ausbildung des Generatormantels und der Abhitzegegewinnung 0,4 bis über 1,0 kg je kg Koks, letztere Werte gelten für Hochdruck-Dampfkessel. Der Überschußdampf reicht nach Kellner<sup>4)</sup> nicht nur für den Bedarf einer Antriebsturbine für das Wind-Gas-Gebläse aus, sondern auch für Pumpenbetrieb.

Steigender Aschengehalt des Kokes vermindert die Vergasungsleistung und den Wirkungsgrad<sup>5)</sup>, während Wassergehaltsschwankungen verhältnismäßig belanglos sind, solange der Wassergehalt in der Trocknungszone noch restlos verdampft und im Kühler niedergeschlagen wird. Bei Abhitzeverwertung soll natürlich möglichst trockener Koks verwandt werden.

<sup>1)</sup> E. Hecker, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 329.

<sup>2)</sup> H. Deneke, Gas- u. Wasserfach 77 (1934), S. 129.

<sup>3)</sup> Gas- u. Wasserfach 67 (1929), S. 257; 77 (1928), S. 1206.

<sup>4)</sup> F. Kellner, Glückauf 68 (1932), S. 1165.

<sup>5)</sup> Fr. W. Herboldt, Stahl u. Eisen 54 (1934), S. 999.

Die derzeitigen Höchstdurchsätze von gut sortierem Koks betragen bei Generatoren mit 2,6 m Dmr. bis 35 t/Tag, mit 3,0 m Dmr. bis 50 t/Tag, das sind nahe an 300 kg/m<sup>2</sup> h Schachtbelastung. Für einen Wellmann-Generator gibt Fr. Herbordt<sup>1)</sup> bis zu 360 kg/m<sup>2</sup> h an mit sortierter Steinkohle oder Anthrazit, auch für einige deutsche Bauarten werden Belastungen von über 300 kg/m<sup>2</sup> h zugesichert, allerdings im wesentlichen unter der Voraussetzung besonders guter Brennstoffauswahl.

Hinsichtlich anderer Brennstoffe finden sich verschiedene und z. T. widersprechende Angaben. Unterschiede in den Durchsatzmengen gegenüber Koks sind selbstverständlich vorhanden, teils wegen anderer

Reaktionsfähigkeit, teils wegen anderer Körnung oder anderen Wasser- und Aschengehalten. Nasse Rohbraunkohlen, grushaltige Fördersteinkohlen und Anthrazite u. dgl. geben gegenüber Koks nur  $\frac{3}{4}$  bis halben Durchsatz. Dagegen erreichen leicht reagierende, stückige, wasserarme Brennstoffe größere Durchsätze als Koks. Z. B. ist für Koller-Generatoren listenmäßig angegeben, daß sie von 1,6 bis 3,0 m Dmr. mit Kleinkoks je nach Grusgehalt 150—200 kg/m<sup>2</sup> h durchsetzen, bei Braunkohlenbrikettvergasung auf Heißgas gegen 250 kg/m<sup>2</sup> h, mit wasserarmer Rohbraunkohle 270—300 kg/m<sup>2</sup> h und mit wasser- und aschearmem Torf noch größere Zahlen. — R. Möller gibt<sup>2)</sup> für

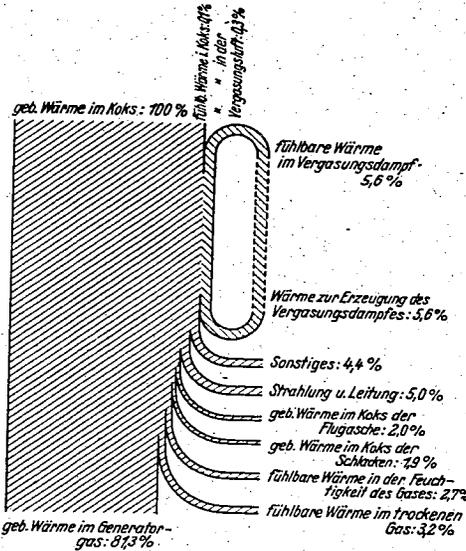


Abb. 53. Wärmestrombild eines Zentralgenerators.

einen Braunkohlen-Hochleistungsgenerator (vgl. Abb. 15) Durchsätze von 26 bis 36 und auch als Grenzbelastung bis 45 t/Tag an, entsprechend 205—285—355 kg/m<sup>2</sup> h.

Die Wärmebilanz des Generatorprozesses zeigt u. a. F. Schuster<sup>3)</sup> in einer Zusammenstellung wärmetechnischer Betrachtungen. Das Wärmeflußdiagramm (Abb. 53) beruht auf Durchschnittswerten, wie sie in neuzeitlichen Anlagen erreicht werden. Chemisch gebunden, also im Gas nutzbar, fallen 81,3% an, mit dem Gas gehen, natürlich ausgangs Generator betrachtet, 5,9% als Wärme im Gas und als unzeretzter

<sup>1)</sup> Fr. W. Herbordt, Gas- u. Wasserfach 76 (1933), S. 112.

<sup>2)</sup> R. Möller, Braunkohle 35 (1936), S. 417.

<sup>3)</sup> F. Schuster, Gas- u. Wasserfach 72 (1929), S. 716.

Dampf ab, die Verluste an C in Schlacke, Flugstaub und Schlamm usw. betragen 3,9%, Strahlung und Leitung nebst einem Restposten zusammen 9,4%, die als Vergasungsdampf in den Prozeß zurückgenommene Wärme 5,6%.

Eine noch weitergehender aufgeteilte Wärmebilanz, die zugleich auch die zusätzliche Apparatur mit darstellt, bringt E. Schumacher<sup>1)</sup> auf Grund der bereits erwähnten Versuche (vgl. S. 69) (Abb. 54). Diese Bilanz unterscheidet sich von der vorhergehenden hauptsächlich dadurch, daß sie auf gekühltes Gas bezogen ist, nicht auf Generatorausgang. Dementsprechend gehen mit dem Gas nur 1,3% an Wärme weg. Die C-Verluste in Schlacke, Schlamm usw. liegen mit 4% in gleicher Höhe, ebenso der zur Windbefeuchtung in den Kreislauf zurücktretende Dampf mit

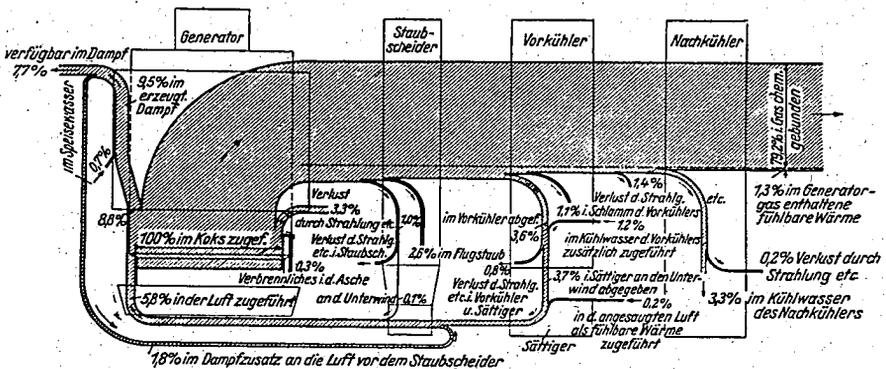


Abb. 54. Wärmeflußdiagramm einer Generatorenanlage.

5,8% und der chemisch gebundene Gaswärmehalt mit 79,2 in gleicher Größenordnung. Die Wärmeabgänge betragen für Strahlung, Leitung und Kühlwasser zusammen etwa 10%, der Dampfüberschuß ist, da diese Versuche an Hochdruck-Röhrenkesselgeneratoren ausgeführt wurden, sehr hoch und umfaßt 5,9% des Wärmeeinsatzes.

Über die Wirtschaftlichkeit der Generatorgaserzeugung finden sich vielerlei Angaben, die meist durch den Erzeugungspreis für 1000 kcal in Gasform ausgedrückt sind. Dieser Wert ist einerseits vom örtlich erzielbaren Brennstoffpreis abhängig, andererseits von der Größe und Betriebsweise der Anlage. Brennstoffpreis und Art sollten deshalb bei Vergleichen stets mit angegeben werden. Abgesehen vom Preis ist der Vergleich mit anderen beschaffbaren Brennstoffen oder Energiearten wichtig, z. B. der Vergleich mit 1000 kcal Ferngas; der für den jeweiligen Fall als tragbare Grenze geltende Brennstoffpreis wird auch als »anleg-

<sup>1)</sup> Schumacher, Gas- u. Wasserfach 74 (1931), S. 1126.

barer Kokspreis« od. dgl. bezeichnet<sup>1)</sup>. An anderer Stelle gibt F. Kellner<sup>2)</sup> Darstellungen über den Preis von 1000 kcal Generatorgas in Abhängigkeit vom Kokspreis.

Auf den Begriff des »wirtschaftlichen Wirkungsgrades« wurde schon oben hingewiesen (S. 68).

Vergleiche der Vergasungskosten bei Verwendung verschiedener Brennstoffe (Anthrazit, Steinkohle, Braunkohlenbriketts) bringt F. Lüth<sup>3)</sup>. Die Größenordnung des Preises von 1000 kcal im Generatorgas liegt um 0,4—0,5 Pf. und wird von Lüth<sup>3)</sup> für Steinkohle (23 RM./t) mit 0,486 Pf., für rheinische Braunkohlenbriketts (15 RM./t) mit 0,544 Pf. je 1000 kcal angegeben, von R. Möller<sup>4)</sup> mit 0,44—0,47 Pf. für Braunkohlenbriketts.

Eine Kostenaufteilung für 1000 kcal Generatorgas nach Löhnen, Betriebsbedarf, Betriebsunterhaltung und Brennstoff errechnen Kaudela und Pietsch<sup>5)</sup>, das Vergasungsmaterial beträgt dabei über 91% der Gesamtkosten, die Löhne 2,2%.

#### *δ) Betriebskontrolle der Generatorenanlagen.*

Nicht weniger wichtig als die Leistungsfeststellung bei Inbetriebnahme einer Generatorenanlage ist die laufende Betriebskontrolle. Diese muß den Rohstoff, das Erzeugnis und die Arbeitsweise umfassen.

Das Brennstoffgewicht kann als Tagesmenge nur durch Hängebaln-Gleiswaage oder ähnlich ermittelt werden, als Monatsmenge auch durch Wägung der Zufuhr zu den Bunkern unter Berücksichtigung des Bunkerinhaltes. Ist keine ständige Wiegemöglichkeit vorhanden, so darf das Zählen der eingefüllten Kübel oder Wagen und deren Durchschnittsgewicht nicht zu überschlägig gehandhabt werden, sondern letzteres muß in regelmäßigen Abständen durch Auswiegen von 1 bis 2 Kübeln nachgeprüft werden. Getrennte Buchung der verschiedenen Körnungen ist schon wegen der Betriebskostenberechnung notwendig. Brennstoffprobenahme kann regelmäßig oder stichprobenweise erfolgen, ebenso die Prüfung der Asche auf Brennbares, wofür allerdings meist schon die äußere Ansicht ausreicht. —

Eine unmittelbare Messung von Gas und Heizwert ist nicht sicher durchführbar, weil Staurand und andere Meßgeräte zu schnell verschmutzen und ein registrierendes Kalorimeter durch das chemisch unreine Gas bald verrottet. Die Messung des erzeugten Gases wird daher zweckmäßig ersetzt durch geeignete Kontrolle der Arbeitsweise der Anlage. Eine Windmengenmessung hat zwar nicht die Nachteile der Rohgasmessung,

<sup>1)</sup> F. Kellner, Glückauf 68 (1932), S. 1165.

<sup>2)</sup> F. Kellner, Gas- u. Wasserfach 76 (1923), S. 110.

<sup>3)</sup> F. Lüth, Mitt. 172 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

<sup>4)</sup> Möller, Zeitschr. VDI 81 (1937), S. 1167.

<sup>5)</sup> Kaudela u. Pietsch, Gas- u. Wasserfach 77 (1924), S. 599.

doch wurde von E. Schumacher<sup>1)</sup> bei den Münchener Versuchen ihre Unzuverlässigkeit beobachtet. Immerhin bietet ein Staurand in der Windleitung vor der Dampfsättigung, der ständig sauber bleibt, mit zugehörigem Differenzdruckschreiber einen guten Anhaltspunkt für die Gleichmäßigkeit des Betriebes bzw. für erfolgte Gasentnahmeänderungen, die ja über den Regler die entsprechende Windmengenänderung selbsttätig unmittelbar veranlassen.

Zur Gasbeschaffenheitskontrolle ist öfters ein Kohlensäureschreiber üblich. Abgesehen von dessen Empfindlichkeit gegen Gasunreinigkeiten ist seine Anzeige aus dem Gesamtgas mehrerer Generatoren wertlos, da sie keinen sicheren Hinweis auf die Ursache einer etwaigen Abweichung (z. B. CO<sub>2</sub>-Steigerung infolge Randfeuer eines Generators) geben kann. Eine viel bessere Überwachung gibt der Einbau von je einem Widerstandsthermometer im Gasabgang jedes Generators. Unter der Voraussetzung gleichmäßiger Brennstoffzufuhr und -verteilung muß bei ungestörtem Betrieb diese Temperatur gleichmäßig bleiben. Randfeuer wird ein Steigen der Temperatur bringen, zu tiefes Absinken der Brennstoffschüttung oder der Feuerzone, ungenügender Dampfzusatz, einseitiges Anhäufen von Schlacke und andere Unregelmäßigkeiten werden stets unmittelbar oder durch Änderung der Reaktion im Gaserzeuger eine Änderung der Gasabgangstemperatur ergeben. Vereinigt man die Anzeige dieser Thermometer auf einem Mehrfarbenschreiber, so kennzeichnet sich jeder etwa abweichende Generator selbst, und der Wärter hat nicht nur die Möglichkeit, jeder Störung an der richtigen Stelle nachzugehen, sondern gleichzeitig wird die Dauer der Abweichung oder der Behebung nachweisbar festgehalten. Diese Kontrolle kann höchstens durch plötzlich sehr stark schwankenden Brennstoff-Wassergehalt etwas beeinflußt werden.

Bei Gruszusatz zum Generator steigert sich der Widerstand der Brennstoffsäule und sinkt damit die Gaserzeugung. Um übermäßiges Nachstoßen zu umgehen, hat daher die Bedienung Interesse an nicht zu starker Grusverwendung. Dies zu überwachen, dient vor allem bei Generatoren mit Gasabsaugung ein einfacher Druckschreiber an der Manometerleitung »Gasdruck Generatorausgang«. Er zeigt durch die Gleichmäßigkeit oder Abweichung der Druckhöhe an, ob die Anlage immer — z. B. auch in der Nachtschicht — die wirtschaftlich erwünschte Höchstmenge an Grus erhalten hat, bzw. ob, nach einer Unterbrechung der Gruszufuhr wegen Druckabfalls infolge Gasmehrentnahme, schnellstmöglich wieder mit dem Gruszusatz begonnen wurde.

Weiter dienen der Betriebskontrolle Manometer an den wichtigeren Punkten der Wind- und Gaswege und an den Generatoren Thermometer für Wind-Dampf-Gemisch und Gas. Fernthermometer werden zweck-

<sup>1)</sup> E. Schumacher, Gas- u. Wasserfach 74 (1931), S. 1123.

mäßig durch ein an der Anschlußstelle eingebautes Quecksilberthermometer ständig vergleichbar gehalten.

Wird Überschußdampf an andere Anlagen oder Betriebe abgegeben, so ist Einbau eines Dampfmessers im Interesse der Betriebskostenrechnung ratsam. Auch die Speisewasserzufuhr und etwaiger Fremddampf ist zu messen. — Regelmäßig von der Bedienung zu überwachen sind vor allem die Kesselwasserstände und die mit Probestangen zu messenden Feuerzonenhöhen in den Generatoren.

F. Kretschmer und I. Möller<sup>1)</sup> weisen in einem ausführlichen Bericht über Generatorüberwachung neben der Beobachtung von Dampfzusatz, Gasdruck-, Temperatur- und Gaszusammensetzung vor allem auf die Beobachtung des Widerstandes der Beschickung im Generator hin und beschreiben eine für diese Beobachtung besonders geeignete Geräteanordnung. In der Windleitung vor dem Generator wird ein Staurand eingebaut, dessen Differenzdruck auf eine Ringwaage übertragen wird. Eine zweite gleichgeartete Staurand-Ringwaagenanordnung befindet sich im Gasweg hinter dem Generator. Die beiden Ringwaagen sind als Doppelmeßgerät übereinander zusammengelegt (Folgezeitgerät Hartmann & Braun), mit bei Normalzustand übereinanderliegenden Zeigern. Bei Störungen im Brennstoffbett (Schlackenstauung, Randfeuer u. a.) ändert sich die Gasbeschaffenheit und damit die Gasmenge im Verhältnis zur Windmenge und die Zeiger gehen auseinander. Bei Körnungsänderung der Beschickung müssen die Doppelzeiger allerdings neu aufeinander abgestimmt werden.

#### d) Sonderformen der Vergasung.

##### *α) Der Abstichgenerator.*

Neben dem in den vorbeschriebenen Anlagen gezeigten Vergasungsverfahren sind noch einige davon abweichende Sonderarbeitsweisen zu erwähnen, und zwar a) der Abstichgenerator, der grundsätzlich trocken, d. h. ohne Dampfzusatz zum Unterwind arbeitet (Luftgaserzeugung), b) die Doppelfeuergeneratoren für vollständige Vergasung bituminöser Brennstoffe.

Der Abstichgenerator dient in der chemischen Industrie zur Herstellung von CO-reichem Gas, ebenso bei der Aluminiumherstellung, und in der Hüttenindustrie zum schnell bereiten Ausgleich von Druck und Menge im Hochofengasnetz. Er arbeitet im Prinzip ähnlich dem Hochofen, als ein mit hohem Winddruck auf flüssige Schlacke betriebener Schachtofen, ohne Dampfzusatz im reinen Generatorgasprozeß. Das damit erzeugte Gas hat infolgedessen sehr wenig CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> und neben Stickstoff vor allem CO. Für einen gleichmäßigen Betrieb ist stückiger Koks nicht unter 20 mm erwünscht. In der Hüttenindustrie sind aller-

<sup>1)</sup> F. Kretschmer u. I. Möller, Wärme 53 (1930), S. 763.

dings Versuche gemacht worden<sup>1)</sup>, ihn auch mit kleinerer Körnung zu betreiben, bis zu etwa 30% 0—10 mm, im Dauerbetrieb ist aber bei wesentlichem Grügehalt meist mit Hängenbleiben der Schachtfüllung zu rechnen, da der Wind sich Einzelwege bahnt und Schlackenbrücken in der Brennstoffsäule bildet. Jedenfalls ist, je kleiner die Körnung gewählt wird, um so höhere Windpressung notwendig. Bedingung für guten Generatorgang ist außerdem das Vorhandensein einer mengenmäßig ausreichenden und leicht schmelzenden Schlackenmenge. Zum besseren Schmelzen der Schlacke werden deshalb dem Koks Zuschläge von Kalk, Hochofenschlacke oder Martinofenschlacke beigemischt, etwa ein Teil Schlacke auf vier Teile Koks. Die Herstellung dieser Mischung, als Möllering bezeichnet, findet in besonderen Möller-Anlagen statt. Das Schlackenbett stellt im Abstichgenerator für die Brennstoffsäule die Zündvorrichtung dar; sie hält einen Wärmevorrat, der den Koks auf Reaktionstemperatur und in Brand bringt und Stillstände überbrückt. Je leichter schmelzend oder dünnflüssiger die Schlacke ist, desto weniger besteht die Gefahr des Hängenbleibens in der Schlackenzone.

Das erhaltene Gas hat gegenüber üblichem Generatorgas sehr wenig Wasserdampfgehalt, es ist um so trockener, je weniger Feuchtigkeit der Brennstoff mitbringt. Der Abstichgenerator wird deshalb und wegen der dampffreien oder dampfarmen Arbeitsweise auch Trockengasgenerator genannt.

Die Gaszusammensetzung ist etwa:

0,4—2,0%	CO <sub>2</sub>
32,0—34,0%	CO
1,0—2,0%	H <sub>2</sub>
0,2%	CH <sub>4</sub>
62,0—66,0%	N <sub>2</sub>

Der obere Heizwert beträgt 1000—1100 kcal, der Luftbedarf das 0,8—0,87fache.

Als Nachteile können betrachtet werden die hohe Abgastemperatur von 600—800° und der verhältnismäßig hohe Staubgehalt von 2 bis 8 g/m<sup>3</sup> je nach Brennstoffkörnung und Schachtdurchmesser (bei größerem Schachtdurchmesser weniger Staubabgang infolge relativ geringerer Strömungsgeschwindigkeit). Abhitzeverwertung für Dampferzeugung ist möglich, da es sich nur um trockenen Koksstaub handelt, der nicht durch Kondensat aus dem Gas niedergeschlagen wird. Allerdings ist bei dessen ungewöhnlich starker Schleißwirkung, zumal bei der hohen Strömungsgeschwindigkeit, besondere Vorsicht in der Anordnung des Abhitzekeessels geboten.

Findet keine Abhitzeverwertung statt, so wird das Gas in Kühlerwäschern gekühlt und gereinigt. Wird das Gas heiß verwendet, so wird ein Staubsack dem Generator nachgeschaltet. Auch zur Vorwärmung der

<sup>1)</sup> Mitt. 34 d. Wärmest. Düsseldorf d. Ver. D. Eisenhütt.-L.

Gebälseluft in einem Gegenstromvorwärmer wird die Gaswärme ausgenutzt, z. B. bei dem Würth-Schlackenschmelzgenerator<sup>1)</sup> (Abb. 55). Die dadurch erhöhte Temperatur des Unterwindes bewirkt einen sehr heißen Gang des Generators, dadurch natürlich sehr hohen Durchsatz, aber auch die Gefahr unregelmäßiger Schlackenbildung und -schmelzung. Der Würth-Generator setzt aus diesem Grunde oberhalb der Luftdüsen

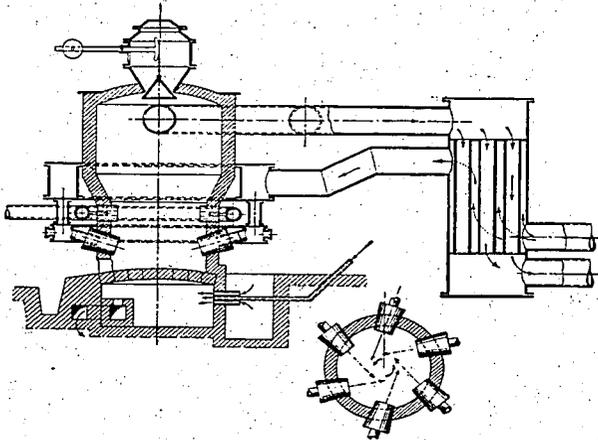


Abb. 55. Schlackenschmelzgenerator Bauart Würth (Abstichgenerator).

in einem weiteren Düsenkranz geringe Mengen Dampf zu, die die Schlacke ohne Brückenbildung in die Schmelzzone überleiten hilft.

Der Durchsatz des Würth-Generators beträgt auf den Schacht bezogen 300—370 kg/m<sup>2</sup> h, auf das eingezogene »Gestell« bezogen über 1000 kg/m<sup>2</sup>/h. Der geringe Dampfzusatz (0,23 kg/kg Koks) ergibt einen etwas höheren H<sub>2</sub>-Gehalt (7%) und Heizwert (1210 kcal). Der Würth-Generator arbeitet mit 600 mm WS Windpressung, ein kg Koks ergibt 4,42 m<sup>3</sup> Gas.

Andere Abstichgenerator-Bauarten arbeiten aber ganz ohne Wasserdampfzusatz, so die neueren Generatoren von Pintsch, Demag u. a.

Im Hüttenbetrieb sind Abstichgeneratoren mit 40—60 t/Tag und auch bis 100 und mehrere hundert t/Tag üblich. Kleinere Generatoren für Aushilfsleistung werden für 10—30 t/Tag gebaut.

Abb. 56 zeigt einen Demag-Abstichgenerator — mit Begichtung, Heißgasventilen und Staubsack —, der bis 300 t täglich durchsetzt. Die Begichtung aus dem Möller-Vorbunker erfolgt vollautomatisch. Zwei übereinander angeordnete Gichtglocken sind preßluftbetätigt und elektrisch gesteuert. Sobald die in den Generator eingehängende Sonde das

<sup>1)</sup> G. de Grahl, Wirtsch. Verwertg. d. Brennst., München 1927, S. 196.

Absinken der Brennstoffsäule anzeigt, schaltet der darauf liegende Gichtglockenhebel die Steuerung ein, die die zwei Glocken wechselnd bewegt. — Das Gas zieht durch die wassergekühlten Heißgasschieber mit etwa  $900^{\circ}$  zum Zyklon-Staubscheider.

Im Gegensatz zu dieser Großanlage stellt Abb. 57 einen Abstichgenerator kleiner Leistung (Pintsch) dar.

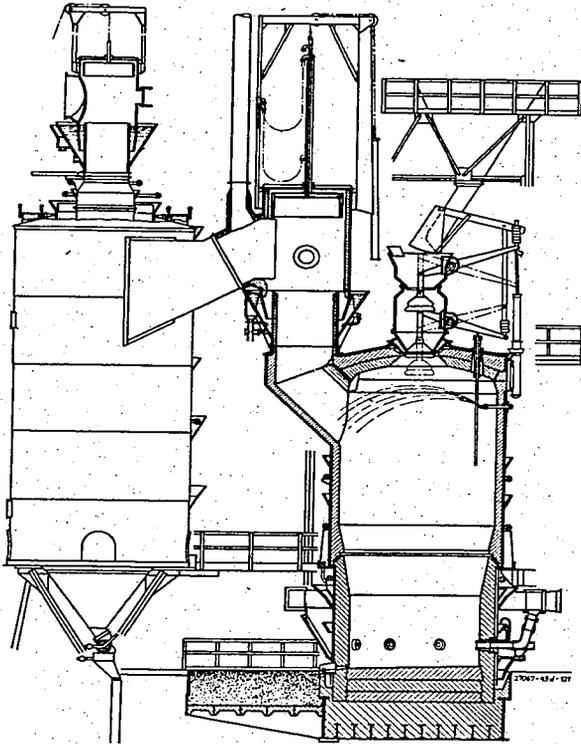


Abb. 56. Abstichgenerator im Schnitt (Demag).

Als besonderen Vorteil des Abstichgenerators hebt F. Kellner<sup>1)</sup> die hohe Durchsatzleistung je Einheit hervor, die das Vier- bis Fünffache eines gleich großen Drehrostgenerators beträgt.

Belastungsänderungen sind beim Abstichgenerator ohne wesentliche Änderung der Gasbeschaffenheit schnell und nach oben und unten in weiten Grenzen möglich. Betriebsversuche ergaben Überlastbarkeit auf

<sup>1)</sup> F. Kellner, Glückauf 78 (1932), S. 1165.

das  $1\frac{1}{2}$ —2fache des Normalen, bei kleineren Einheiten auch über das 2fache, ferner vorübergehende Unterbelastbarkeit bis auf 40% der Normallast. Bei länger dauernder Unterbelastung ist allerdings wegen der veränderten Strömungsverhältnisse eine Änderung der Winddüsen (Formen) notwendig. Die Belastungsänderung kann innerhalb weniger Sekunden erfolgen.

Über Leistung, Wärmebilanz und Betriebskosten von Abstichgeneratoren in Frankreich berichtet A. Heczko<sup>1)</sup>. Nach Versuchen

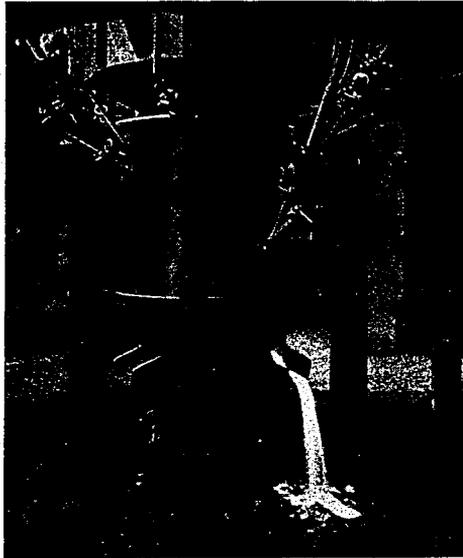


Abb. 57. Kleiner Abstichgenerator (Pintsch).

von Markgraf<sup>2)</sup> ist der thermische Nutzeffekt des, wie oben erwähnt, mit geringem Dampfzusatz arbeitenden Würth-Generators 72—74%, ohne die fühlbare Wärme des Gases, in breiten Belastungsgrenzen. Für übliche Abstichgeneratoren gibt Wellner<sup>3)</sup> den Vergasungswirkungsgrad mit nicht über 70% an.

*β) Generatoren für bituminöse Brennstoffe (Krackung im Generator).*

In den beschriebenen Gaserzeugerbauarten können, wie erwähnt, auch bituminöse Brennstoffe vergast werden, z. B. Braunkohlenbriketts,

<sup>1)</sup> A. Heczko, Chim. et Ind. Paris 1939, Sonderheft 5, S. 420.

<sup>2)</sup> Markgraf, Stahl u. Eisen 38 (1918), S. 643.

<sup>3)</sup> Wellner, Glückauf 1932, S. 1165.

Braunkohle, Torf. Je nach Verwendungszweck muß das daraus erzeugte Gas entteert werden. In vielen Fällen ist es aber erwünscht, auch diese Brennstoffe zu verwenden, ohne zur verhältnismäßig schwierigen Teerscheidung gezwungen zu sein. Dieser Aufgabe entsprechen die sog. Zweifeuer- oder Doppelfeuergeneratoren, die in zwei übereinanderliegenden Brennzonen die Schwelung und Verkrackung einerseits und die Vergasung andererseits bewirken. Da Generatoren dieses Arbeitsprinzips fast ausschließlich als Sauggasgeneratoren in Betrieb sind, wird dazu auf diesen Abschnitt verwiesen (S. 90). Demselben Zweck dienen die Generatoren mit umgekehrter oder abfallender Vergasung, die ebenfalls mit Holz oder Briketts betrieben werden und den Luftzutritt in halber Höhe des Generators, den Gasabgang in Rosthöhe haben. Auch diese gehen vorwiegend als Sauggaserzeuger (s. das.). Eine Sonderform der letzteren Betriebsweise ist der Generator mit absteigender Vergasung für feuchte Brennstoffe (Deutz<sup>1)</sup> <sup>2)</sup> (Abb. 58), d. h. für Brennstoffe, die so viel Wassergehalt haben, daß bei Durchleiten der gesamten Wasserverdampfung durch das Brennstoffbett dieses zu sehr gekühlt würde. Die Luftzufuhr, durch ein Gebläse betätigt, erfolgt auch in halber Höhe. Dieser Gaserzeuger hat aber noch einen Kaminaufsatz, dessen unteres, gelochtes Ende weit in das Brennstoffbett hineinragt. In den Kamin ist ein Thermostat eingebaut, der auf eine Drosselklappe in der Gebläseleitung wirkt. Die Luft geht teils abwärts, teils aufwärts im Gaserzeuger; die aufwärtsgehende Luft trocknet den Brennstoff teilweise unter Mitwirkung der ausstrahlenden Brennzonenwärme und zieht mit dem Schwaden oben ab. Steigt das Thermometer im oberen Abgang infolge zu starken Blasens und höherkommender Reaktionszone, so wird der Luftstrom automatisch gedrosselt. Je nach Brennstofffeuchtigkeit kann der Thermostat auf einen günstigsten Wert eingestellt werden, so daß nur Wasserdämpfe nach oben abziehen. Alles Entgasungsgas nebst Teerdämpfen wird durch die Brennzonen gezwungen und daselbst vollständig verkrackt.

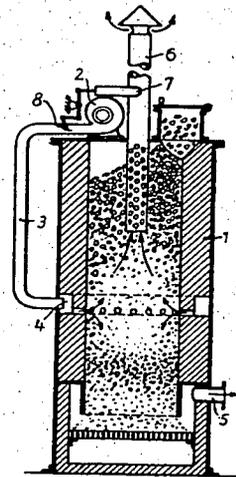


Abb. 58. Gaserzeuger mit absteigender Vergasung.

#### e) Generatorgasverwendung.

Die größten Generatorgasanlagen befinden sich vor allem in Hüttenwerken zur Beheizung metallurgischer Öfen (z. B. Martinöfen), ferner in Gaswerken und Kokereien zur Beheizung der Entgasungsöfen. Anlaß

<sup>1)</sup> Humboldt-Deutz, DRP. 669332.

<sup>2)</sup> H. Jordan, Brennst.-Chemie 20 (1939), S. 402.

zu dieser Verbreitung des Gaserzeugers war zumeist die Gleichmäßigkeit und Reinheit des Heizgases, bisweilen aber auch der Zwang, Koks- und Kohlen abzuarbeiten, oder neuerdings in Kokereien der Zweck, möglichst viel Starkgas für Ferngaslieferung freizumachen<sup>1)</sup>).

Ein ziemlich vielseitiges Anwendungsgebiet ist die chemische und Glasindustrie, die Generatorgas für Glaswannen, Natronschmelzkessel und andere Schmelzzwecke verwendet, weiter die keramische, Zellstoff- und Textilindustrie.

Große und auch kleine Generatoren sind vielfach angewandt in der eisenverarbeitenden Industrie für Glüh-, Härte-, Schmelz- und Wärmeöfen u. dgl., ferner in Bäckereien, Lebensmittelwerken und anderen mehr, sowie für Raumheizung.

Weiter ist Generatorgas besonders geeignet zum Antrieb von Gasmotoren, sowohl für Fabrikbetriebe, wie für Fahrzeuge (vgl. Sauggasanlagen und Fahrzeuggaserzeuger).

### 3. Ortsfeste Sauggasanlagen.

Die besondere Eignung von Generatorgas als Kraftgas für Gasmotoren wurde bereits erwähnt. Dieser Verwendungszweig hat breiteres Ausmaß erst bekommen, als etwa um 1900 die Ausbildung der Sauggasanlagen verbessert und für die verschiedensten Brennstoffe ausprobiert wurde<sup>2)</sup>).

Der Unterschied zwischen den vorher beschriebenen Gaserzeugeranlagen und den Sauggasanlagen ist für letztere durch die andersartigen Betriebsvoraussetzungen bedingt. Die Vergasung erfolgt statt durch Unterwinddruck durch den Saughub des angeschlossenen Gasmotors. Dementsprechend ist der zulässige Widerstand der Brennstoffsäule und die Querschnittsbelastung des Generators begrenzt, ebenso dürfen die Reinigungsapparate keinen zu hohen Durchgangswiderstand geben. Weiter ist im allgemeinen ein möglichst geringer Bedienungsaufwand gefordert, deshalb wird der Brennstoffvorrat im Schacht groß gehalten oder seine Zufuhr schon bei kleineren Einheiten automatisiert, so daß trotz längerer Bedienungspausen die Arbeitsfähigkeit des Motors stets gesichert ist.

Die ersten, von Dawson praktisch betriebsfähig erstellten Sauggaserzeuger verwendeten nur teerfreie Brennstoffe, in neuerer Zeit gewannen aber auch die teerhaltigen Brennstoffe zunehmend Bedeutung und finden heute besonders in Kleinanlagen z. T. sogar bevorzugte Verwendung. Der Motor verlangt allerdings ein unbedingt reines, teerfreies Gas. Teergehalt würde zum Verkleben der Kolbenringe und zur Verunreinigung des Öls führen, also eine schwere maschinelle Gefährdung darstellen.

<sup>1)</sup> Kellner, Gas- u. Wasserfach 76 (1933), S. 110.

<sup>2)</sup> J. Gwosdz, Chem.-Ztg. 61 (1937), S. 997.

Deshalb zeigen Sauggasanlagen für teerfreie und teerhaltige Brennstoffe einige grundsätzliche Unterschiede in der Gaserzeugerbauart und in den Reinigungsanlagen. Zwischen diesen beiden Gruppen liegen die Sauggasanlagen, die teerhaltige Brennstoffe unmittelbar auf teerfreies Gas verarbeiten (vgl. auch S. 85, 90); sie unterscheiden sich von den ersteren — für teerfreie Brennstoffe — durch die Generatorbauart und Betriebsweise.

a) Sauggasanlagen für teerfreie Brennstoffe.

Als teerfreie Brennstoffe kamen früher nur Höchsttemperaturkoks und Anthrazit in Frage, in neuerer Zeit werden aber auch Schwelkokse aus Braun- und Steinkohle wegen ihrer günstigen Vergasungseigen-

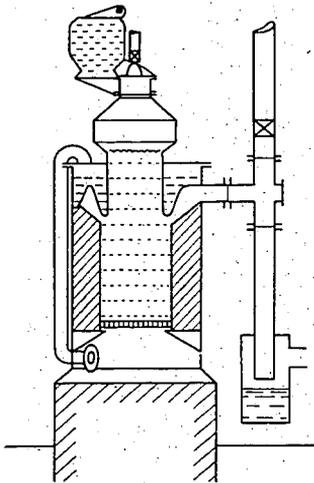


Abb. 59. Festrost-Sauggasanlage (Pintsch).

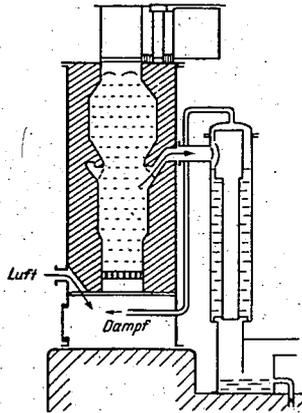


Abb. 60. Festrost-Sauggasgenerator (MAN).

schaften viel für Sauggasanlagen verwendet. Die Gaserzeuger für diese Brennstoffe gleichen grundsätzlich den mit Winddruck betriebenen Gaserzeugern, zeigen allerdings meist vereinfachte Ausführung. Der ausgemauerte Generatorschacht überwiegt. Körting-Gasanlagen und andere werden auch mit Wassermantel zur Dampferzeugung gebaut. Der Planrost, entweder feststehend oder auch als Rüttelrost, ist viel gebraucht, außerdem aber auch von Hand drehbare Roste oder bei größeren Einheiten die bekannten mechanischen Drehroste. — Der Generatorunterteil wird vorwiegend geschlossen ausgeführt, mit Schlacktüren zum Ascheaustragen. Für Ascheaustragung im Betrieb und damit für ununterbrochene Arbeitsmöglichkeit des Motors kann auch ein Aschensumpf

mit Wassertauchung und seitlicher Aschenentfernung untergebaut werden (vgl. Abb. 64). Drehroste haben die übliche nasse Austragung. Die Abb. 59 und 60 zeigen kleinere Festrost-Sauggasgeneratoren, die Abb. 61 eine größere Drehrost-Sauggasanlage mit Skrubber.

Die Brennstoffzufuhr und der Brennstoffvorrat im Schacht sind, wie erwähnt, möglichst reichlich angelegt. Der Schacht wird deshalb meist höher gefüllt gehalten, als im Drehrostgenerator sonst üblich, oder er erhält sogar eine Verlängerung nach oben als Brennstoff-Vorrats-

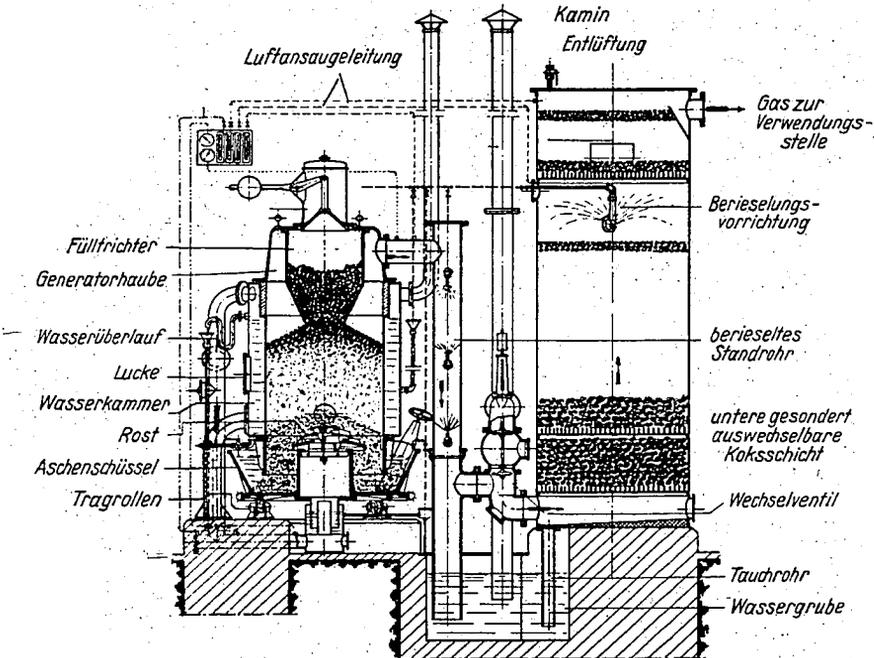


Abb. 61. Drehrost-Sauggasanlage (Körting).

raum (Abb. 59). Die Beschickung erfolgt oft durch auf dem Generator stehende Füllgefäße, die, drehbar angeordnet, neben der Füllöffnung stehend gefüllt werden und dann, mit geschlossenem Deckel über die Füllöffnung geschoben, in diese entleeren. Solche Gefäße werden einzeln oder auch doppelt als Wechselgefäß ausgeführt (Abb. 59, 60). Auch übliche Füllrichtungen mit Doppelverschluß werden ausgeführt. — Die Unterluft tritt unter den Rost ein oder auch seitlich in Rosthöhe. Der meist aus der Wärme des abziehenden Gases gewonnene Dampf wird der Unterluft zugesetzt oder getrennt unter den Rost geführt. Der

Dampferzeugung dienen — außer dem vorerwähnten Dampfmantel — auch Verdampfer, die dem Generator nachgeschaltet werden; sie sind als Mantelkühler um das Abgangsröhr (Abb. 60) oder auch als Röhrenverdampfer ausgebildet. Eine andere Form wählte Pintsch durch Anordnung einer Wasserschüssel im Generatorschacht unter dem Deckel, über deren Wasseroberfläche die Vergasungsluft vor der Zuleitung unter den Rost geführt wird (Abb. 59). Ebenso streicht beim Dampfmantel die angesaugte Unterluft zunächst durch den Dampfraum des Kessels (Abb. 61).

Zum Anheizen bei Inbetriebnahme oder nach Stillständen ist natürlich eine künstliche Luftzufuhr an Stelle des Motorsaugzuges notwendig, sowie eine Abführung der nicht brennbaren Anfangsgase. Zum Anblasen dienen handbetätigte oder bei größeren Anlagen elektrisch betätigte Gebläse, oder der Motor erzeugt während seiner Betriebszeit einen gewissen, für die Anheizzeit ausreichenden Druckluftvorrat. Ein Abblasekamin oder sonstige Ableitung über Dach kann unmittelbar auf dem Generator aufgesetzt sein oder hinter dem Verdampfer oder Skrubber. Eine ebenfalls zweckmäßige Bauform von Pintsch<sup>1)</sup> stellt das Ansauggebläse hinter die Anlage, saugt also an Stelle des Motors an; dadurch wird, ebenso wie bei Anfangsgasableitungen hinter dem Wäscher, erreicht, daß der Motor sofort mit vollwertigem Gas anfahren kann. Kleinanlagen werden auch ohne Kamine gebaut und das Anfangsgas durch den Deckel weggelassen.

Um zu vermeiden, daß der Motor aus dem noch nicht betriebsfähigen Generator ansaugt, ist zwischen dem Verdampfer oder Generator und dem Kühlerwäscher ein Sicherheitstauchtopf eingeschaltet, der nach Auffüllen mit Wasser durch eine Tauchwand absperrt (Abb. 59, 60).

Zur Reinigung teerfreier Sauggase sind die bekannten einfachen Kühlwäscher oder Skrubber üblich, Blechzylinder mit einer Füllung von Holzhornden oder Koks oder Raschigringen sowie einer Wasserberieselung. Nachgeschaltet ist ein mit Sägespänen beschickter Hordenreiniger zum Festhalten mitgerissenen Wassers. Bei kleinen Anlagen werden Kühler und Reiniger zusammengefaßt, indem eine oder einige Reinigeranlagen oder eine Ringfüllung im Oberteil des Wäschers über der Wasserberieselung untergebracht werden; einzelne Kleinausführungen fassen sogar Gaserzeuger und Wäscherreiniger in einem zusammenhängenden Apparat zusammen.

Einen neuzeitlichen Naßreiniger beschreibt B. Möller<sup>2)</sup>, in dem das Gas zwischen genau abgestimmten Platten und wasserberieselten Kaskaden durchgeführt wird; diese Bauart vereinigt Staubabscheidung und Waschung auf kleinstem Raum.

<sup>1)</sup> G. de Grahl, Wirtsch. Verwertg. d. Brennst., München 1921, S. 190.

<sup>2)</sup> B. Möller, Chem.-Ztg. 61 (1937), S. 455.

b) Sauggasanlagen für bituminöse Brennstoffe.

Als bituminöse Brennstoffe kommen Steinkohlen, Braunkohlenbriketts, Braunkohlen, Torf und Holz in Betracht. Backende Steinkohle ist ungeeignet wegen der unvermeidlichen Schwierigkeiten durch Festhängen der Brennstoffsäule. Nichtbackende Steinkohlen werden bisweilen verwandt, doch vorwiegend Braunkohlen und Briketts, und für Kleinanlagen Holz oder Mischungen von Holz und Briketts. Torfverwendung ist besonders vom Standort abhängig. Diese Brennstoffe lassen sich natürlich ebenso wie in Winddruck-Gaserzeugern auch in Sauggasanlagen mit aufsteigender Vergasung verarbeiten. Der anfallende Teer

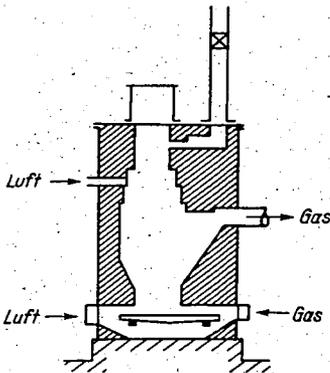


Abb. 62. Zweifeuergenerator.

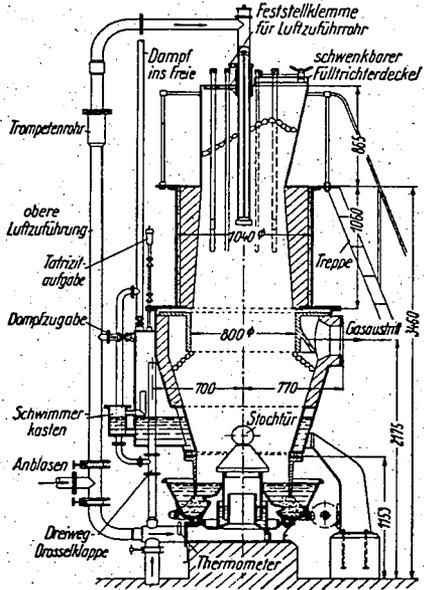


Abb. 63. Doppelfeuergenerator (Humboldt-Deutz).

erfordert nur eine besondere Form der Reinigung des Gases, um dieses teerfrei zum Motor zu bringen. Solche zusätzliche Apparaturen sowie das nebenbei anfallende Schwelwasser sind aber für Kleinanlagen sehr unerwünschte Begleiterscheinungen. Deshalb eignen sich für bituminöse Brennstoffe viel besser die auf teerfreies Gas arbeitenden Sauggaserzeuger, die Schwelen, Teerkracken und Vergasen in einem Schacht vereinigen.

Hierzu dienen zunächst die Gaserzeuger mit Zweifeueranordnung. Die Luft wird nicht nur unter den Rost zugeführt, sondern ein Teilstrom auch in halber Höhe oder im oberen Drittel der Brennstoffsäule. Diese obere Brennstoffsäule vergast einen Teil des Brennstoffs und die Wärme dieser Vergasung bewirkt, in das Brennstoffbett ausstrahlend, dessen Trocknung und Schwelung. Wasserdampf und Schwelgase werden durch die obere Brennzonen nach unten durchgesaugt, allmählich verkrackt

und in Gasform umgesetzt. Die Gase des oberen Feuers vereinigen sich am mittleren Gasabgang mit dem vom unteren Feuer kommenden Gas der restlichen Vergasung des Brennstoffkokes.

Eine ältere Ausführung des Zweifeuergenerators zeigt Abb. 62. Die obere Luftzuführung erfolgt seitlich. Es ist daher leicht möglich, daß sich die für das Oberfeuer angesaugte Luft nicht gleichmäßig auf den ganzen Querschnitt des Schachtes verteilt und daher ungenügend verschwelte Brennstoffteile in die Nähe des Gasabganges absinken und das abziehende Gas mit Teer verunreinigen. Diesen Nachteil vermeidet der Doppelfeuergenerator Bauart Deutz<sup>1)</sup> (Abb. 63).

Dieser mit Aschenschüssel und Drehrost ausgestattete Generator hat die Gasabführung in halber Höhe des Generatorschachtes, durch einen gußeisernen Winkeleinbau und eine Brennstoffböschung gebildet, den Luftzutritt einerseits unter dem Rost und anderseits durch ein von oben eingeführtes Mittelrohr nebst einer mit dem Schachtdurchmesser zunehmenden Anzahl zusätzlicher, ringförmig angeordneter Rohre. Diese Rohre führen etwa so weit in das Brennstoffbett ein, daß der obere und untere Luftzutritt in gleicher Entfernung vom Gasaustritt liegen. Die Luftverteilung auf den Schachtquerschnitt ist dadurch einwandfrei gesichert. Mit der Anblaseleitung ist nur das Mittelrohr verbunden, im übrigen wird die Oberluft durch Jalousiekappen auf den Rohren geregelt.

Das Prinzip dieser aufeinanderfolgenden Trocknung—Schwelung—Krackung—Vergasung ist gegenüber dem Zweifeuergenerator noch vereinfacht bei dem »Gaserzeuger mit umgekehrter oder abfallender Vergasung«, der besonders für Holzvergasung, aber auch für Briketts oder Gemische von Holz und Briketts gut bewährt ist. Ein Gebläsegenerator mit abfallender Vergasung wurde bereits beschrieben (S. 85, Abb. 58).

Für Sauggasbetrieb entfällt die vom Thermostaten beeinflusste Trennung der Wasserdämpfe, es werden hier alle Dämpfe und Gase durch die Feuerzone geführt. Die Luftzufuhr erfolgt bei diesen Gaserzeugern nur durch in halber Höhe des Schachtes in ein oder zwei Reihen eingebaute, außen regelbare Düsen (Abb. 64), oder auch durch ein von oben eingeführtes Mittelrohr und eine bis zwei Düsenreihen im Mantel (Humboldt-Deutz).

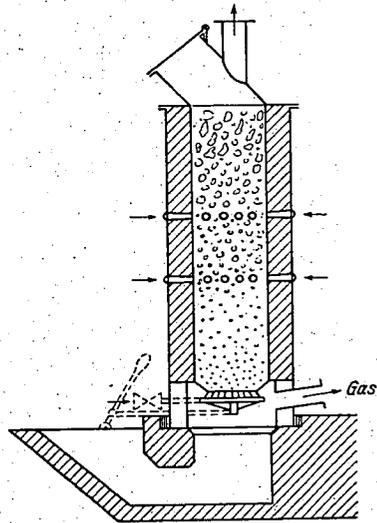


Abb. 64. Generator mit abfallender Vergasung.

<sup>1)</sup> Humboldt-Deutz, DRP. 664 524.

Übermäßig hoher Wassergehalt würde bei diesen Zweifeuer- bzw. abfallenden Gaserzeugern natürlich zu einer zu starken Kühlung der Brennzone führen. Als oberste Grenze des Wassergehaltes von in Generatoren für abfallende Vergasung noch durchzusetzendem Brennstoff wird 20—30% angegeben. Bei hohem Wassergehalt muß der Schachtoberteil, wenn er nicht ausgemauert ist, gut isoliert werden<sup>1)</sup>.

Bei Holzvergasung ist, da es sich hierbei meist um Abfälle handelt, auf die Stückgröße und Mischung verschiedener Größen zu achten. Grobstückiges Holz darf im Verhältnis zum Schachtdurchmesser nicht zu groß sein, insbesondere sind für Grobholz Schachtverengungen über der Feuerzone gefährlich. Rütteln des ganzen Brennstoffbettes würde dann die wenig widerstandsfähige Schüttung der Glutzone schädigen. Eine Rüttelvorrichtung der Hansa-Gasgeneratoren-Ges. vermeidet letzteres durch Einbau von Rüttelarmen über der Brennzone<sup>2)</sup>, deren Fallhebel vom Motor aus periodisch ausgelöst werden. Über eingehende Versuche an ortsfesten Klein-Holzgasern berichtet u. a. das österr. Kuratorium für Wirtschaftlichkeit<sup>3)</sup>.

Die Gasbeschaffenheit von Sauggasen weicht im allgemeinen von den üblichen Generatorgasen (vgl. Zahlentafel 2, S. 24) etwas ab und zeigt höheren Gehalt an CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>, besonders bei Vergasung feuchter, bituminöser Brennstoffe, die ihren gesamten Wassergehalt mit durch die Reaktionszone führen.

Zahlentafel 5.  
Zusammensetzung von Sauggasen.

Brennstoff	CO <sub>2</sub> %	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> %	CH <sub>4</sub> %	O <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> %
Koks	4,8	—	27,6	7,2	2,0	—	58,6	1200
Braunkohlen-Schwelkoks	4,0	—	27,5	12,0	0,6	—	55,9	1205
Anthrazit	5,5	—	23,3	17,4	2,0	0,5	51,3	—
»	5,0	—	28,0	12,0	0,5	—	54,3	1210
Braunkohle	11,5	0,1	17,0	15,2	2,5	—	53,6	1122
Braunkohlen-Briketts	7,0	0,5	25,0	14,0	5,0	0,1	46,5	1350
»	10,1	—	18,0	22,5	2,3	0,1	47,0	—
Torf	16,0	—	12,3	22,4	1,9	0,2	47,1	—
Grobholz	13,0	—	13,8	16,0	2,8	—	54,3	1086
Holzspäne	13,5	—	14,2	14,8	3,0	—	54,4	1084

Die Leistungsgrößen von Sauggasanlagen werden grundsätzlich fast nur nach PS-Leistung bezeichnet, der Brennstoffverbrauch wird dementsprechend in kg oder g je PSh angegeben. Zahlentafel 6 gibt einige etwa als Mittelwerte anzusehende Zahlen.

<sup>1)</sup> Zeitschr. VDI. 82 (1938), S. 455.

<sup>2)</sup> J. Gwosdz, Brennst.-Chemie 19 (1938), S. 317.

<sup>3)</sup> Zeitschr. VDI. 82 (1938), S. 455.

Zahlentafel 6.

Spezifischer Verbrauch verschiedener Brennstoffe  
in Sauggasanlagen.

Brennstoff	Verbrauch in g/PSH
Holzkohle . . . . .	550
Koks . . . . .	550
Braunkohlen-Briketts . . . . .	650—800
Rohbraunkohle . . . . .	1000
Holz, grobstückig . . . . .	850—950
Holz, Säge- und Hobelspäne . . . . .	1000
Holz, Abfälle . . . . .	900—1000
Holz, frische Abfälle mit 30% Wasser . . . . .	1100

Die Brennstoffkosten für Sauggaskraft können wegen der örtlich sehr verschiedenen Brennstoffpreise bzw. Abfallbewertung nicht eindeutig angegeben werden, sondern sind von den Baufirmen von Fall zu Fall zu gewährleisten. Nach verschiedenen Angaben liegen sie etwa in der Größenordnung von 0,5 bis 1,5 bis 2,3 Rpf./PSH.

Hinsichtlich Belastung des Generators findet sich bei Sauggasanlagen die bei Gaserzeugern sonst übliche Kennzeichnung nach  $\text{kg/m}^2/\text{h}$  nur sehr selten in Literatur und Firmenangaben; neben dem üblichen Wert  $\text{kg/PSH}$  erscheint noch die Bezeichnung nach  $\text{kcal/m}^2/\text{h}$ . Letzterer Wert ist als Vergleichszahl wichtig bei Vergleich verschiedenartiger Brennstoffe mit verschiedener Reaktionsfähigkeit und verschiedenem Aschengehalt. So ergab eine Körting-Sauggasanlage<sup>1)</sup> mit grusfreiem Braunkohlenbrikett-Schwelkoks und mit stückigem Brikozit (Braunkohlen-Stückkoks), also mit sehr reaktionsfähigen Brennstoffen, 175 bis  $185 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ , in Heizwert ausgedrückt für Brikettschwelkoks 1,1 bis 1,2 Mill.  $\text{kcal/m}^2/\text{h}$ . Nach Versuchen von E. Rammler, K. Breitling und J. Gall<sup>2)</sup> erreichte ein besonders reaktionsfähiger Steinkohlenschwelkoks 1,2 Mill.  $\text{kcal/m}^2/\text{h}$  bei einer Schachtbelastung von  $190 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  gegenüber einem Zechenkoks, der nur 1,0 Mill.  $\text{kcal/m}^2/\text{h}$  bei  $150 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  ergab. Als Kennzeichen der Größenordnung des hierzu benutzten Gaserzeugers sei erwähnt, daß er bei 1,1 m Schachtdurchmesser für eine Maschinenleistung von 300 bis 350 PS bemessen war. Im Vergleich mit den Leistungszahlen von Generatoren mit Gebläsewind (S. 76) liegen diese Zahlen niedriger, entsprechend der geringeren Windgeschwindigkeit im Gaserzeuger.

Der Dampfverbrauch von Sauggasanlagen wird mit 0,35—0,55 kg je kg Brennstoff angegeben<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 685; E. Rammler, Braunk. 1937, S. 334, 1938, S. 289.

<sup>2)</sup> E. Rammler, K. Breitling u. J. Gall, Glückauf 1937, S. 1077.

<sup>3)</sup> Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 685.

Sauggasanlagen werden je nach Verwendungszweck und Kraftbedarf in Größenordnungen von 5 bis 500 PS gebaut, letztere Größe entspricht einem Tagesdurchsatz von etwa 7 bis 8 t Brennstoff. Schon von 25 PS an werden sie vollautomatisch ausgeführt.

#### 4. Fahrzeuggeneratoren.

##### a) Gaserzeuger für Schiffsantrieb.

Frühere, um 1910 unternommene Versuche, Gaserzeuger für Schiffsbetrieb zu verwenden, hatten den Wettbewerb des Dieselmotors nicht zu schlagen vermocht. Erst als die Notwendigkeit der Verwendung heimischer Brennstoffe in den Vordergrund trat, nahm die Deutzmotoren-A.G. ihre älteren Erfahrungen wieder auf und wandte sie in dem 1934 in Betrieb genommenen Gasschiff »Harpen I« mit Erfolg an. Dieser Erfolg war maßgebend für eine seither ständig verbreiterte Einführung generatorgasbeschickter Schiffsmotore<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>.

Zwar erfordert die Gaserzeugeranlage nebst Brennstoffbunkern und Reinigungsapparaten einen größeren Raum und höhere Anlagekosten als ein Dieselmotor mit Zubehör bei gleicher Leistung, aber diesem höheren Kapitaldienst stehen wesentliche Ersparnisse durch den billigeren Brennstoff gegenüber, die bei regelmäßigem Betrieb des Gasschiffes die ersteren Mehrkosten überwiegen<sup>3)</sup>.

Im ganzen sind die Voraussetzungen für Erstellung einer Sauggasanlage in einem Schiff verhältnismäßig günstig. Natürlich ist der Platzbedarf gegenüber ortsfesten Anlagen grundsätzlich sehr beschränkt und die Bedienung muß aus Rücksicht auf die wenigen im Schiffsdienst vorhandenen Fachkräfte äußerst vereinfacht werden. Ein wesentlicher Faktor ist aber, daß für die Kühlung und Reinigung Wasser unbegrenzt zur Verfügung steht. Es ist daher möglich, auch mit räumlich äußerst begrenzten Reinigungsapparaten die für den Motor erforderliche physikalische und chemische Reinheit des Betriebsgases zu sichern. Die Einfachheit der Bedienung ist durch weitgehende Mechanisierung des Generatorbetriebes und der Brennstoffzufuhr erreicht.

Die Gaserzeuger für Schiffsbetrieb sind, um alle Schlackenstörungen zu vermeiden, mit Niederdruck-Dampfkesselmantel und mit mechanischem Drehrost versehen. Die Brennstoffzufuhr durch eine Zellenrad-schleuse hält den Generatorschacht mit oben eingebautem Brennstoffverteiler ständig hoch voll. Der Brennstoffvorrat kann aus dem Bunker mit Becherwerk oder mit Kübelaufzug hochgefördert werden. Die Reinigungs- und Zubehöraparate sind möglichst gedrängt, aber zugänglich

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 78 (1935), S. 656; Zeitschr. VDI 1936, S. 757; II. Brückner, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 463.

<sup>2)</sup> Humboldt-Deutz, DRP. 629614, 637548 u. a.

<sup>3)</sup> J. Haack und E. Feld, Glückauf 72 (1936), S. 135.

angeordnet. Diese auf Grund neuester Erfahrungen im Gaserzeugerbau eingerichteten Schiffsanlagen stellen also, obgleich sie meist als Kleinanlagen zu bezeichnen sind, eine in jeder Richtung neuzeitliche Ausführung dar.

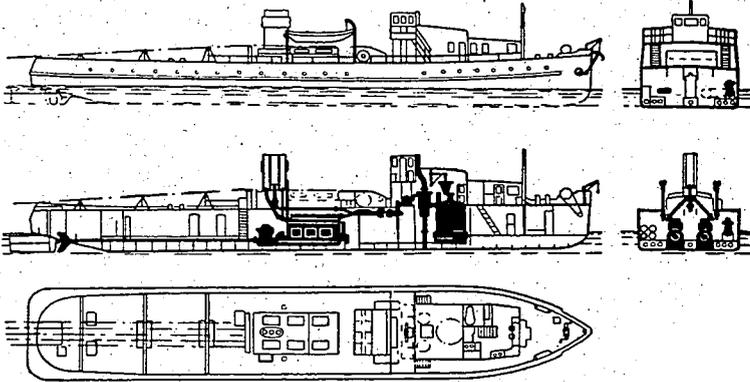


Abb. 65. Gasschlepper Harpn I. Gesamtübersicht.

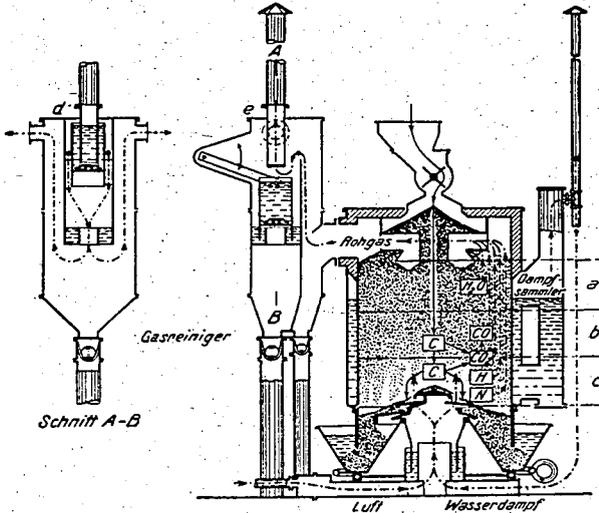


Abb. 66. Schiffsgaserzeuger des Gasschleppers Harpn I.

Abb. 65 zeigt den erwähnten, als entscheidender Fortschritt zu bezeichnenden Neueinbau der Gaserzeugeranlage im Schlepper »Harpn I«, Abb. 66 den Aufbau des Gaserzeugers und Abb. 67 die Anordnung der Nebenapparate. Es ist ein Drehrost-Gaserzeuger mit stark seitlich pres-

sender Rosthaube und der üblichen selbsttätigen Aschenaustragung. Der Wassermantel hat drucklose Siedekühlung (vgl. S. 38); der Gasabgang führt durch einen Blechbehälter, der zugleich Staubabscheider und Um-

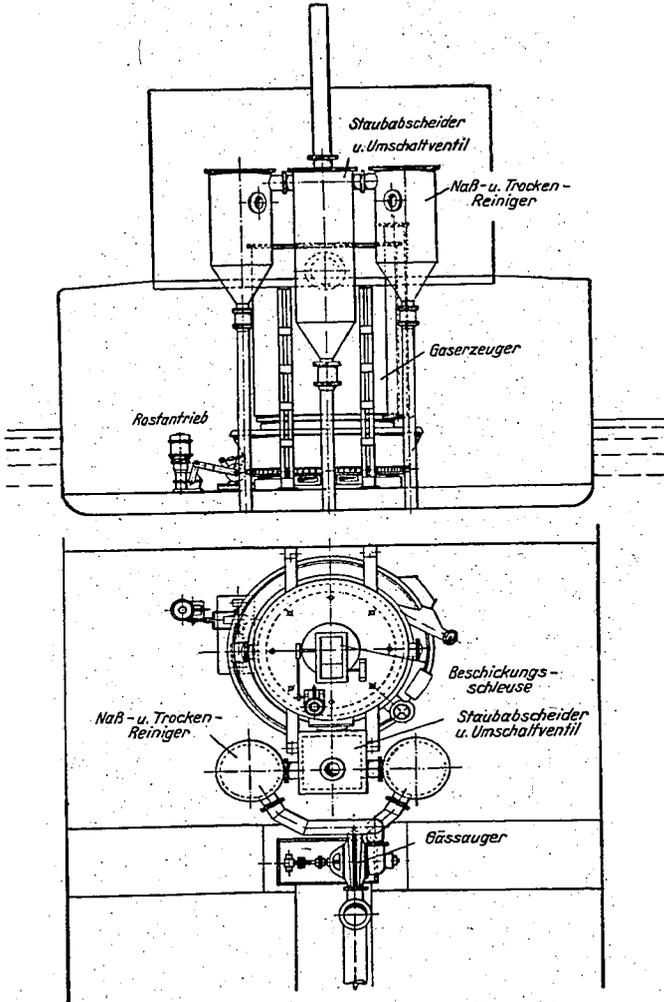


Abb. 67. Anordnung der Gasanlage Harpen I.

schaltventil enthält. Die Staubabscheidung erfolgt durch reichliche Wasserverdüsung. Das Umschaltventil (vgl. Abb. 48, S. 62) gestattet augenblickliche Außerbetriebnahme ohne Stillsetzen des Gaserzeugers. Weiter zeigt der Generator einen Brennstoffverteiler im Schacht, einen

Dampfsammler am Mantelkessel und eine durch besonderen Motor angetriebene Zellenradbeschickung, der der Brennstoff aus dem Vorbunker zufließt und die sich bei vollem Generator selbsttätig ausschaltet. Das im Staubabscheider vorgereinigte Gas verteilt sich in zwei Wegen (Abb. 65) auf zwei beiderseits des Staubabscheiders stehende Naß-Trockenreiniger, in denen das Gas durch reichliche Wasserstreudüsen und Prallplatten auf die für den Gasmotor erwünschte Reinheit gebracht wird. Das Wasser der Reiniger hat freien Abfluß in den Strom. Von jedem der 2 Nachreiniger führt ein getrennter Gasweg zu den 2 Deutz-Gasmotoren (8 Zylinder, Viertakt) von je 375 bis 410 PS, die mittschiffs parallel aufgestellt sind und mit verlängerter Welle auf die 2 Schrauben wirken. Zwischen Nachreiniger und Gasmotor ist jeweils ein Gasförderer (Gebläse) und ein Gasdruckregler eingebaut, sowie vor dem Gasmotor ein Abzweig in eine im Schiffskamin eingebaute Brennvorrichtung für Anlaufgas und Überschuß bei plötzlichem Stillstand. Der Gasförderer hat zunächst nur den Zweck, den Gaserzeuger auf Normalleistung zu bringen und die Reinigungsapparate mit gutem Gas durchzuspülen, so daß der Motor dann sofort gleichmäßiges, gutes Gas erhält, wenn der Schlepper anfahren soll. Der Gasdruckregler hält den Gasdruck am Motoreingang auf  $\pm 0$ , um dem Motor stets gleiche Arbeitsbedingungen zu sichern. Der Gasförderer kann aber auch im Betrieb mitlaufen und bewirkt dann eine um 7% höhere Motorenleistung als bei reinem Sauggasbetrieb. Die Anheizzeit des Gaserzeugers beträgt mit Gebläse je nach der Dauer des vorhergegangenen Stillstandes 10—20 min<sup>1)</sup>.

Hinsichtlich Brennstoff ist die Anlage sehr anpassungsfähig, also nicht standortgebunden, sondern sie verarbeitet alle in Deutschland vorkommenden Anthrazite, Magerkohlen, Kokse und Schwelkokse und vor allem auch Kleinkokskörnungen. Kleinkoks Nuß IV und Anthrazit Nuß IV und V haben sich als wirtschaftlichstes Betriebsmittel erwiesen. An Brechkoks IV werden 0,5 kg/PSh verbraucht, im Werte von 0,75 bis 1,0 Rpf./PSh<sup>2)</sup>, nach anderen Feststellungen<sup>3)</sup> 350 g Anthrazit oder 430 g Steinkohlenschwelkoks oder 450 g Braunkohlenschwelkoks je PSh, womit die reinen Brennstoffkosten sich auf 0,8 Rpf./PSh stellen. Versuche des Schleppamtes Hannover gemeinsam mit Körting-Maschinenbau an einer Sauggasanlage für Braunkohlenschwelkoks ergaben einen Bedarf von 430 bis 480 g/PSh bei einem Schwelkoksheizwert von 6000 kcal/kg bzw. von 520 bis 570 g/PSh bei einem Schwelkoksheizwert von 5000 kcal/kg. Auf Grund dieser Ergebnisse setzte der Reichschleppbetrieb mehrere Gasschlepper für Schwelkoks ein. Teerspuren, von ungenügendem Abschwelungsgrad des Kokses herrührend, beein-

<sup>1)</sup> Zeitschr. VDI 80 (1936), S. 757.

<sup>2)</sup> Gas- u. Wasserfach 78 (1935), S. 656.

<sup>3)</sup> Werft, Reederei, Hafen 1938, S. 107.

trächtigten den Motorbetrieb nicht. Eine Zusammenstellung<sup>1)</sup> vergleicht die Kosten je PSh in Gas, Dieselöl und Dampf:

Gas aus Koks IV . . . . .	0,88 Rpf./PSh
» » » III . . . . .	1,17 »
» » Anthrazit IV . . . . .	0,83 »
» » » V . . . . .	0,75 »
Dieselöl landverzollt . . . . .	2,95 »
» zollbegünstigt . . . . .	1,28 »
Dampf 12 atü . . . . .	1,19—1,38 Rpf./PSh
» 30 » . . . . .	1,07 Rpf./PSh

Da im Gasbetrieb, wie erwähnt, nicht die Anlagekosten, sondern die Brennstoffkosten das Entscheidende bei der Wirtschaftlichkeit des Betriebes sind, ist natürlich die Belastungsstärke des Schleppers besonders wichtig. Nur bei regelmäßigem Betrieb sind die höheren Anlagekosten unbedingt gerechtfertigt. Andererseits können natürlich auch nationalwirtschaftliche Rücksichten auf den Brennstoffmarkt die Auswahl beeinflussen.

Für Lieferung des Stromes für den Gaserzeugerantrieb und für die Motorzündung ist ein kleines Diesel-Aggregat neben den Gasmotoren aufgestellt.

Während für schwere Schlepper Zweischraubenanordnung mit 2 Gasmotoren im Interesse der Augenblicksleistung wie der Wendigkeit sehr wichtig ist, genügt für den Einbau in Frachtschiffe die einfache Anord-

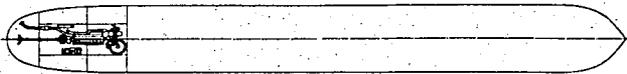


Abb. 68. Frachtschiff mit Gaskraftanlage, Raumbeanspruchung.

nung (Abb. 68), um so mehr, als bei diesem Schiffstyp aus Rücksicht auf den Laderaum besondere Raumbeschränkung notwendig ist. Die Anordnung im Heck des Frachtschiffes ist grundsätzlich genau die gleiche wie für den Schlepper beschrieben, auch die Mechanisierung ist trotz kleinerer Betriebsgröße ähnlich durchgeführt, da die Wartungsmöglichkeit gegenüber dem Schlepperbetrieb eher noch vermindert ist.

Infolge des guten Erfolges der Generatoren für Schiffsantrieb ist diese Verwendungsart mit allen Einzelheiten in der Fachpresse vielfach eingehend beschrieben<sup>2) 3)</sup>.

<sup>1)</sup> Zeitschr. VDI 80 (1936), S. 757.

<sup>2)</sup> H. Brückner, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 463.

<sup>3)</sup> W. Reerink, Bericht D 75 des Reichskohlenrates, 1936, VDI-Verlag.

b) Generatoren für Landfahrzeuge.

α) *Brennstoffe und Betriebsbedingungen.*

Während bei Sauggasanlagen für Schiffsantrieb noch verhältnismäßig günstige Aufstellungs- und Betriebsbedingungen vorliegen, sind diese bei Gaserzeugern zum Antrieb von Fahrzeugmotoren in verschiedener Hinsicht sehr erschwert. Sowohl räumlich als auch gewichtsmäßig läuft der Einbau der Gaserzeugungs- und Reinigungsanlagen dem Grundzweck des Fahrzeuges, einer weitestgehenden Ausnützung von Raum und Gewicht für Ladezwecke, zuwider. Der gegenüber Schiffsantrieb hervortretende Mangel an Wasser erschwert die Reinigung des Gases und gefährdet den Motor durch Gasunreinigkeiten. Weiter stehen Gaserzeuger und Apparate nebst dem Brennstoff selbst unter ständig starker Erschütterung, so daß die Bauart ebenso auf Gewichtersparnis wie auf Stabilität Rücksicht nehmen muß und die Brennstoffauswahl begrenzt ist.

Der Brennstoff ist, um wirtschaftlichen Erfolg des Fahrzeuggaserzeugers zu sichern (vgl. später), vor allem standortgünstig zu wählen. Gebraucht werden sowohl entgaste, also teerfreie Brennstoffe, wie Holzkohle, Torfkoks, Schwelkoks von Braun- und Steinkohlen, diesen ähnlich geartet auch Anthrazit, andererseits teerhaltige Brennstoffe wie Holz- und Braunkohlenbriketts. Diese beiden Gruppen verlangen auch eine verschiedene Generatorbauart und Betriebsweise. Während die Gaserzeuger für die teerfreien Brennstoffe nach Art aller Koks-Generatoren den Luftzusatz unten und den Gasabgang oberhalb der Reaktionszone haben und dieses Gas verhältnismäßig einfach entstaubt und gekühlt werden kann, muß bei Vergasung teerhaltiger Brennstoffe entweder durch umfangreichere Reinigung dafür gesorgt werden, daß der Teergehalt von normaler Vergasung dem Motor ferngehalten wird, oder — was heute allgemein üblich ist — es werden hierfür Gaserzeuger mit abfallender Vergasung oder auch Doppelfeuergeneratoren (vgl. S. 90) verwendet, in denen der Teer des Brennstoffs noch im Generator verkrackt wird und das ebenfalls teerfreie Gas nur die normalen Reinigungsapparate erfordert. Denselben Zweck der Teerverkrackung im Generator zeigen die Bauarten mit Querstromvergasung.

Von den genannten Brennstoffen ist die Holzkohle zweifellos einer der geeignetsten; sie ist besonders reaktionsfähig, daher an Belastungsschwankungen des Motors gut anpassungsfähig und hat den geringsten Ballast an Wasser und Asche. Auch Torfkoks und Braunkohlenschwelkoks zeichnen sich durch gute Reaktionsfähigkeit aus. Steinkohlenschwelkoks steht hinter dem Braunkohlenschwelkoks etwas zurück, ist aber praktisch gut bewährt. Allerdings müssen die Schwelkoks gut und durchweg gleichmäßig abgeschwelt sein, da restlicher Teergehalt in einer nicht auf Teer abgestellten Reinigungsanlage und im Motor sehr

stört. Außerdem nennt E. Rammler<sup>1)</sup> als feste »Treibkokse« noch Braunkohlen-Stückkoks (Brikozit), Schwelbriketts aus Gasflammkohle, Braunkohlen-Feinkoksbriketts und abgeseihten Brikett-Grudekoks. Anthrazit hat den Vorteil des höchsten Heizwertinhaltes bei kleinstem Raumbedarf<sup>2)</sup>. — Holz ist, wo es ausreichend zur Verfügung steht, wegen seines billigen Preises viel in Gebrauch. M. Kochler<sup>3)</sup> empfiehlt gedörrtes Trockenholz wegen seines höheren Heizwertes. — Braunkohlenbriketts dagegen haben sich nicht in großem Umfange eingeführt, weil ihr verhältnismäßig hoher Teergehalt entweder besondere Sorgfalt in der Überwachung erfordert, oder nicht in ausreichendem Maße im Generator verkrackt wird und daher in der Reinigeranlage oder im Motor Schwierigkeiten bereitet.

Den Wertunterschied der üblichen Brennstoffe zeigt folgende Übersicht über den Heizwertinhalt in Mill. kcal je m<sup>3</sup> des geschütteten Brennstoffs:

Holz (20% Wasser) . . . . .	0,985	Mill. kcal/m <sup>3</sup>	Brennstoff
Holzkohle . . . . .	1,5	»	»
Braunkohlen-Schwelkoks . . . . .	2,0	»	»
Torfkoks . . . . .	2,6	»	»
Steinkohlen-Schwelkoks . . . . .	3,15	»	»
Anthrazit . . . . .	6,4	»	»

Die geeignetste Körnung für alle fossilen Brennstoffe und für Holzkohle ist 10—20 mm, möglichst ohne Unterkorn und Staub. Körnungen von 30 bis 40 mm bewirken bei den geringen Generatorquerschnitten bereits eine Verschlechterung des Heizwertes und des Vergasungswirkungsgrades. Für Holzvergasung wird am besten trockenes Buchenholz von etwa 8 cm Länge und 5 cm Breite verwandt. Nadelholz neigt zu stärkerer Verteerung infolge des hohen Harzgehaltes<sup>4)</sup>.

Die Reaktionsfähigkeit des Brennstoffes ist bei den Fahrzeuggeneratoren mit ihrer wechselnden Belastung — sei es durch Wechseln von Fahrt und Stillstand oder von ebener und Bergfahrt — von besonderer Bedeutung. Ein nicht genügend reagierender Brennstoff würde bei verstärkter Ansaugung durch den Motor vom Luftüberschuß abgeschreckt und das Gas verschlechtert werden, anderseits genügt bei reaktionsfähigem Stoff auch schon schwache Durchsaugung, um die für gute Gasbildung notwendige Temperaturlage zu erhalten. Diese Voraussetzungen erfüllen die Holzkohle, Schwelkokse und Anthrazite. Bei nicht entgasten Stoffen, insbesondere Holz, ist aber bei Über- und Unterelastung Vorsicht geboten<sup>5)</sup>. Holzvergaser können längere Zeit mit öherer Belastung fahren, solange der durch Abschwelen erhaltene Holz-

<sup>1)</sup> E. Rammler, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 689.

<sup>2)</sup> F. Kolkhorst, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 121.

<sup>3)</sup> M. Kochler, Technica Lyon 6 (1938), S. 5, Feuerungstechnik 25 (1937), S. 24.

<sup>4)</sup> H. Brückner, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 446.

<sup>5)</sup> H. Mehlig, Zeitschr. DVI 80 (1936), S. 301.

kohlenvorrat im Generator noch nicht aufgebraucht ist. Dann tritt die Gefahr des Durchbruches von Holzkohlenstaub und Teer zum Motor auf. Bei vorübergehender Überlastung gleichen sich Verschiebungen des Holzkohlenspiegels durch die vorübergehende Temperatursteigerung des Brennstoffbettes von selbst aus. Ein lange unterbelasteter Holzgas-erzeuger ist wiederum dadurch gefährdet, daß der Wärmeinhalt des Gas-erzeugers für die Abschwelung nicht ausreicht und aus diesem Grunde Teer durchbrechen kann. Dieser Gefahr kann nach längerem Stillstand durch vorsorgliches Anblasen mittels Hilfsgebläse vorgebeugt werden.

Wasserdampfzusatz ist nicht bei allen Bauarten üblich. Notwendig ist er bei schnelllaufenden Motoren, weil die Zündgeschwindigkeit vom  $H_2$ -Gehalt des Gases abhängig ist und 10—12% nicht unterschreiten soll<sup>1)</sup>. Notwendig ist Dampfzusatz auch bei aschereichen Brennstoffen, um der besonders bei zeitlicher Überlastung auftretenden Gefahr fester Verschlackung vorzubeugen. Bei abfallender Vergasung feuchter Brennstoffe fällt der Wasserdampf mit dem Gas zwangsläufig an.

Die Bekämpfung der Schlackengefahr ist im Interesse der Betriebs-sicherheit des Fahrzeuges und einer einfachen Bedienung sehr wichtig. Der Bericht D 83 des Reichskohlenrates von Rammler und Mitarbeitern über Vergasungsverhalten von festen Kraftstoffen<sup>2)</sup> gibt den Begriff der »Verschlackungszahl« in g Schlacke je 1000 umgesetzte kcal und stellt diese in den Grenzen von 2 bis 10 g fest, je nach Aschengehalt und verschlacktem Anteil der Gesamtasche. Natürlich ist die Festigkeit der Schlacke auch von Einfluß. Bekämpfung der Schlackenstörungen ist außer durch Brennstoffauswahl, Belastungsregelung, automatische Dampf-zusatzsteigerung bei Vollast u. dgl. auch konstruktiv möglich durch Auswahl des feuerfesten Materials, durch nicht zu starke, also zu sehr wärmespeichernde Ausmauerung und durch geeignete Formgebung des Generatorunterteils und des Rostes. Als radikale Lösung wird auch auf Weglassen der Ausmauerung und Betrieb auf Schlackenverflüssigung hingewiesen<sup>2)</sup>. Letztere Betriebsweise benutzt eine Luftdüse als Luft-zuführung, die, im Querstrom arbeitend, durch hohe Strömungsgeschwindigkeit eine räumlich begrenzte Reaktionszone ergibt, aus der die Schlacke nach unten abfließt. Diese Düsegeneratoren (vgl. S. 106) erzeugen meist nicht Halbwassergas (Luftwassergas), sondern Luftgas.

Während bei den ortsfesten Sauggasanlagen (S. 86) die Schachtbelastung im allgemeinen geringer ist als bei normalen Drehrostgeneratoren, wird die Leistung von Fahrzeuggeneratoren aus Rücksicht auf die Platzbeschränkung möglichst gesteigert und erreicht Durchsätze bis 350 kg/m<sup>2</sup>/h, nach E. Rammler<sup>2)</sup> sogar von 375 bis 500 kg/m<sup>2</sup>/h. Bei Vergleich dieser Leistungen mit solchen normaler Gaserzeuger ist allerdings

<sup>1)</sup> H. Finkbeiner, Zeitschr. VDI 82 (1938), S. 836.

<sup>2)</sup> E. Rammler, K. Breitling, J. Gall, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 99, und Bericht D 83 des Reichskohlenrates, VDI-Verlag 1938.

zu berücksichtigen, daß sie im allgemeinen nicht auf den Gesamtquerschnitt des Gaserzeugerschachtes bezogen werden, sondern auf die durch Verengung des ausgemauerten Schachtunterteils verringerte Rost- oder Luftdurchtrittsfläche; nur bei Generatoren für aschereiche Brennstoffe ohne diese Verengung trifft dies nicht zu. Trotzdem bewiesen diese Belastungszahlen die Notwendigkeit, den Brennstoff und die Betriebsweise gut auszuwählen und zu überwachen. Grenzen der Leistung liegen in der erwähnten, schließlich eintretenden restlosen Verschlackung, ferner in zu starkem Mitreißen von Flugstaub, in zu hoch steigender Gastemperatur und zu starkem Druckverlust im Brennstoffbett.

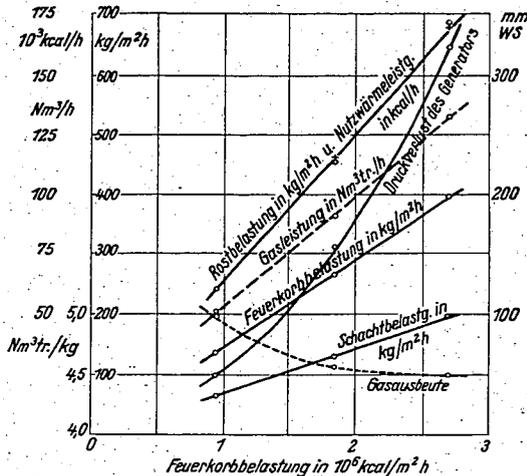


Abb. 69. Fahrzeug-Gaserzeuger, Belastungen und Gasausbeute.

Einen Überblick über die Auswirkungen verschieden hoher Belastungen eines Fahrzeuggenerators auf Betriebsmittelverbrauch, Vergasungswirkungsgrad und Verluste, Heizwert und Gasbeschaffenheit geben die in Abb. 69—71 gezeigten Versuchsergebnisse, die E. Rammler, K. Breitling und J. Gall<sup>1)</sup> auf Grund von Versuchen an einem Wisco-Fahrzeuggenerator mit Steinkohlenschwelkoks 10—20 mm berichten. Die Zahlen sind bezogen auf die Feuerkorbbelastung, also auf den Durchsatz an dem engsten Generatorquerschnitt, ausgedrückt in  $10^6$  kcal/m<sup>2</sup>/h und beruhen auf Versuchen bei Schwachlast,  $\frac{2}{3}$  Last und Vollast. Abb. 69 vergleicht die Begriffe Rostbelastung, Feuerkorbbelastung und Schachtbelastung (Steigerung entsprechend der Verengung) in kg/m<sup>2</sup>/h mit der Wärmeleistung in kcal/m<sup>2</sup>/h und zeigt, daß Gasleistung und Druckverlust des Generators mit der Belastung zunehmen, die Ausbeute in Nm<sup>3</sup>/kg

<sup>1)</sup> Bericht D 83 des Reichskohlenrates, Berlin 1938, VDI-Verlag.

Brennstoff aber infolge schlechterer Brennstoffausnutzung etwas zurückgeht. — Abb. 70 zeigt den mit der Belastung natürlich steigenden Koksverbrauch; der Dampfzusatz in kg/kg Brennstoff geht durch die ungünstigere Sättigungsdauer zurück. Dementsprechend nimmt  $\text{CO}_2$ - und  $\text{H}_2$ -Gehalt ab, der Gehalt an  $\text{CO}$  und Gesamtbrennbarem und der C-Gehalt im Gas steigen. Der Gasheizwert steigt ebenfalls entsprechend der  $\text{CO}_2$ -Abnahme, aber nicht ganz im gleichen Grade, weil bei der stärkeren Strömungsgeschwindigkeit auch der  $\text{N}_2$ -Gehalt etwas höher ist. — Abb. 71

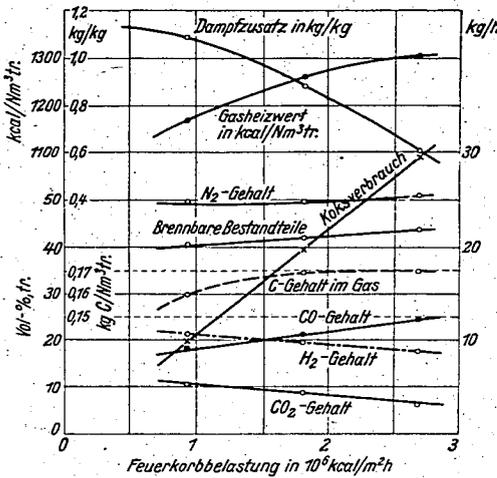


Abb. 70. Dgl. Gaszusammensetzung und Heizwert.

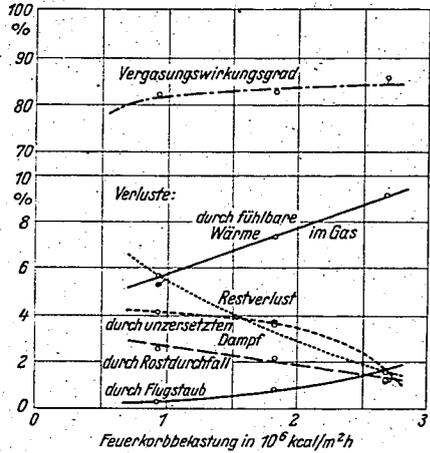


Abb. 71. Dgl. Wirkungsgrad und Verluste.

gibt als Auswirkung der Versuche den Vergasungswirkungsgrad und die Verluste. Der Wirkungsgrad steigt trotz zunehmendem Verlust durch fühlbare Wärme des Gases, weil andererseits die Verluste durch unzersetzten Dampf und durch Unverbranntes im Rostdurchfall abnehmen.

### β) Bauarten von Fahrzeuggeneratoren.

Die unter den obenerwähnten Voraussetzungen zweifellos vorhandene Erschwerung des Fahrzeuggaserzeugerbetriebes und seine in neuerer Zeit immer stärker herausgestellte nationalwirtschaftliche Bedeutung haben zu einer sehr eingehenden und vielseitigen Erforschung und betriebsmäßigen Erprobung und Anwendung geführt, deren Darstellung in der Fachliteratur hier nur teilweise angezogen werden kann<sup>1-4)</sup> (und vorgenannte).

1) H. Finkbeiner, Hochleistungsgaserzeugung im Fahrzeugbetrieb, Berlin 1937.

2) F. Kolkhorst, Feuerungstechnik 27 (1939), S. 121.

3) G. Kühne, Zeitschr. VDI 87 (1934), S. 1241.

4) Fachsitzung Bren- u. Treibstoffe. Zeitschr. VDI 80 (1936), S. 946.

Sehr gefördert und verbreitet ist der Fahrzeuggaserzeuger auch in Italien, wo ihm ebenfalls hohe nationalwirtschaftliche Bedeutung zukommt<sup>1)</sup>. Auch in Frankreich wird der Generatorenbau staatlich sehr gefördert und durch staatliche Beiträge zu den Einrichtungskosten unterstützt.

Die Bauarten der zahlreichen betrieblich bewährten Fahrzeuggaserzeuger weichen von den vorher beschriebenen Gaserzeugerbauformen z. T. sehr ab, einerseits in der erwähnten, oft angewandten Einschnürung des Schachtunterteils, andererseits darin, daß der eigentliche Gaserzeugerraum nur einen kleinen Teil des Schachtes umfaßt und dessen Hauptteil durch selbsttätig nachsinkenden Brennstoffvorrat die Betriebsbereitschaft zu sichern hat; dies ist noch stärker ausgeprägt, als bei den ortsfesten Sauggasanlagen.

Deshalb liegt der Gasabgang bei Aufwärtsvergasung bzw. der Lufteintritt bei abfallender Vergasung nicht immer oben am Schacht, sondern oft in der Mitte oberhalb der Reaktionszone. Die Hauptbetriebsarten sind für teerhaltige Brennstoffe die Abwärtsvergasung, für teerfreie die Aufwärtsvergasung, Schräg- und Querstromvergasung.

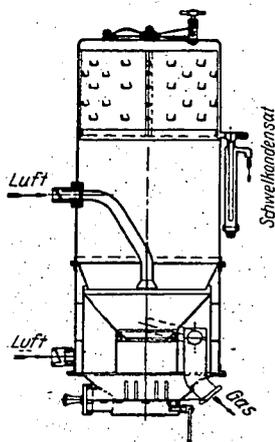


Abb. 72. Holzgaszeuger (Orenstein u. Koppel).

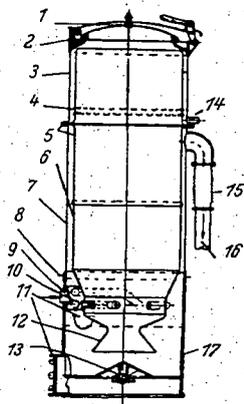


Abb. 73. Holzgaszeuger (Imbert).

Einen Holzgasgenerator mit abfallender Vergasung zeigt Abb. 72 (Bauart Orenstein und Koppel<sup>2)</sup>), Abb. 73 einen Imbert-Holzvergaser mit einer bereits der Querstromvergasung nahekommenden Abwärtsvergasung. Beide Ausführungen haben im Schachtoberteil einen Doppelmantelbau, in dessen Außenraum durch Jalousieschlitze oder durch den oben offenen Ring überschüssige Wasserdämpfe abziehen und als Kondensat abgeführt werden können. Generatorausmauerung ist bei Holzvergasung nicht notwendig. Bei der abfallenden Vergasung tritt die Luft teils ringförmig ein, teils durch eine Mitteldüse, die seitlich von oben (Abb. 72, vgl. auch Abb. 64) oder auch von unten durch die Rostmitte hochgeführt (Deutz) eintritt. Durch diese Mitteldüse wird eine über den ganzen Schachtquerschnitt gleichmäßige Reaktionszone erreicht. Der Gasabgang der Abwärtsvergasung ist dicht über oder unter

<sup>1)</sup> Marcucci u. La Valle, Die Gaserzeuger für Kraftwagen, Rom 1938.

<sup>2)</sup> H. Brückner, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 447.

dem Rost angeschlossen, oder das Gas durchströmt erst, durch einen Schaufeleinbau wirbelnd geführt, einen Ringraum zwischen Mantel und verjüngtem Einbauunterteil<sup>1)</sup>. Der Imbert-Holzgaszerzeuger (Abb. 73) läßt die Luft ziemlich nahe über dem Rost durch einen Düsenring seitlich in spiralförmiger Richtung eintreten. Das unten aus dem Rost abziehende Gas umstreicht vorwiegend den Schachtmittelteil bis zum Gasabgang.

Der Holzkohlengaserzeuger (Hansa) (Abb. 74) hat aufsteigende Vergasung und benutzt in einer bei verschiedenen Bauarten ähnlich benutzten Anordnung die Wärme des abziehenden Gases zum Verdampfen des Luft-sättigungswassers. Die aufsteigende Vergasung ist für Schwelkokse und Anthrazit bisher am meisten in Gebrauch. Ebenfalls mit Aufwärtsvergasung, aber mit Gasabgang unter dem Brennstoffvorratsbehälter arbeitet der Wisco-Generator für Holzkohle bzw. Anthrazit oder Schwelkoks (Abb. 79). Dieser benutzt die Wärme des Generatormantels in

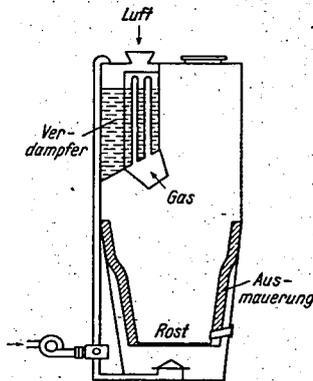


Abb. 74. Holzkohlengaserzeuger (Hansa).

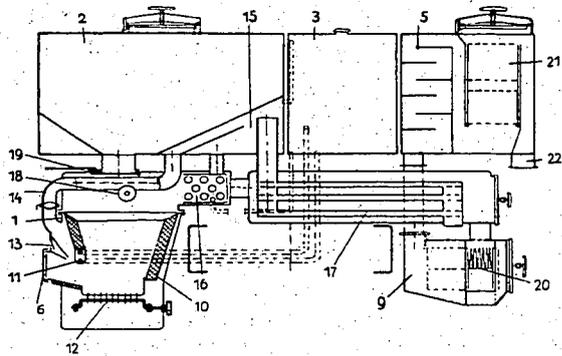


Abb. 75. Hansa-Universal-Gaserzeuger mit Zubehör, Schnittbild.

Höhe der Reaktionszone zur Vorwärmung des Dampf-Luft-Gemisches und nimmt deshalb einen höheren Gasheizwert für sich in Anspruch.

Für Vergasung von Braunkohlenschwelkoks und Braunkohlenschwelkoks wird der Generatorschacht auch oft nicht ausgemauert, um einem Verschmelzen der verhältnismäßig reichlicheren und voluminöseren Asche vorzubeugen.

Der Wisco-Bauart ähnlich ist der französische Barbier-Autogaz-generator<sup>2)</sup> und der italienische Dux-Generator<sup>3)</sup>.

Mit Schrägstromvergasung, die dem Querstrom nahekommt, ist der Hansa-Universalgenerator eingerichtet (Abb. 75). Der Brennstoffbehälter ist bei dieser Bauart vom Generator aus Einbaugründen getrennt und

<sup>1)</sup> Humboldt-Deutz, DRP. 654 798.

<sup>2)</sup> Engineer 143 (1927), S. 448.

<sup>3)</sup> Brennst.-Chemie 15 (1934), S. 205.

mit ihm durch eine den Brennstoff fördernde Schnecke verbunden. Im Generator ist hier die Oberkante der Lufteintrittsstelle durch hohe Temperatur gefährdet und wird deshalb als wassergekühlte Rippe ausgeführt. Der Rost, auch ein Schüttelrost, liegt noch waagrecht unter dem Feuer. Im Gasabgang ist ein Verdampfer eingebaut.

Bei der reinen Querstromvergasung steht der Rost senkrecht dem Lufteintritt gegenüber und bildet zugleich den Gasabgang, während sich die Asche auf dem Generatorboden sammelt und da z. B. durch einen untergebauten wegnehmbaren Kasten entfernt werden kann.

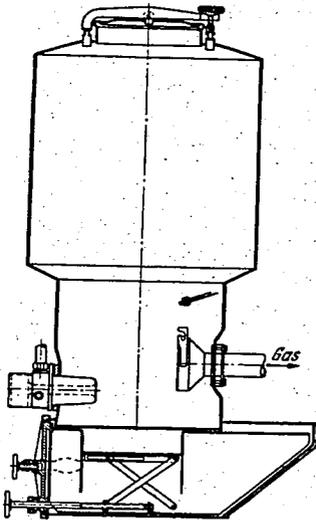


Abb. 76. High-Speed-Gaserzeuger.

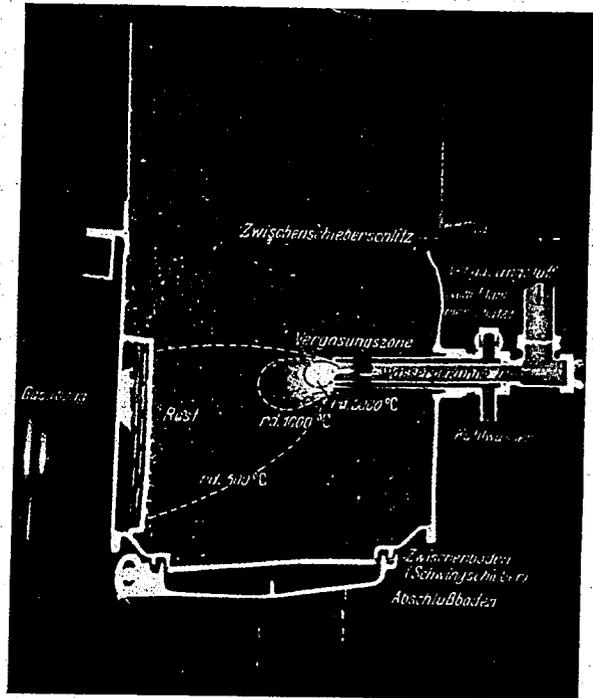


Abb. 77. Daimler-Benz-Düsen-generator.

Eine wichtige neue Art der Querstromvergasung ist die mit enger Luftdüse, die, wie oben erwähnt, für weniger reaktionsfähige Brennstoffe entwickelt wurde. Solche sind der englische Gilford-Gaserzeuger (High-Speed-Gaserzeuger) (Abb. 76), dem auch der französische Gaserzeuger von Gohin ähnlich ist, und der deutsche Daimler-Benz-Düsen-generator (Abb. 77). Die Luftdüse erzeugt eine sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit und dadurch sehr scharfe Reaktion am Luftaustritt<sup>1)</sup>, wodurch so

<sup>1)</sup> Feuerungstechnik 26 (1938), S. 106.

hohe Temperatur erreicht wird, daß die Schlacke schmilzt und auf den Generatorboden abfließt. Die scharfe Reaktion hat deren enge Begrenzung auf die Generatormitte zur Folge, deshalb wird alle davon ausstrahlende Wärme an das Brennstoffbett abgegeben; sie erreicht aber den Generatormantel so wenig, daß Ausmauerung des Feuerkorbes nicht notwendig ist. Die geschmolzene Schlacke muß etwa einmal täglich entfernt werden. Die scharfe Reaktion vor der Düse hat weiter den Vorteil, daß nach Stillständen oder Fahrpausen die Reaktionszone selbst bei Bildung oder Füllung von Hochtemperaturkoks schnell wieder in normal arbeitenden Zustand kommt. Wie Abb. 77 zeigt, ist die Düse bis gegen Schachtmitte vorgeschoben und wird mit Wasser gekühlt. Der Daimler-Benz-Gaserzeuger geht ganz trocken auf Luftgas, ohne Dampfzusatz. Der englische Düsengenerator (Abb. 76) kann durch ein besonderes

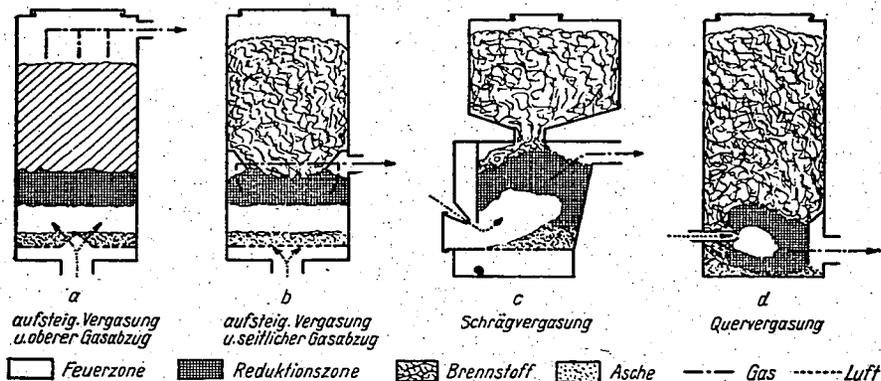


Abb. 78. Schematische Darstellung der Fahrzeuggaserzeuger-Vergasungsarten.

Zuführungsrohr in der Düse auch Wasser in geringer Menge einstäuben. Dieses Wasser nimmt aber, obwohl es sofort explosionsartig verdampft, infolge der großen Strömungsgeschwindigkeit kaum an der Umsetzung teil und wirkt nur etwas abkühlend auf die Generatorwand. — Das CO-reichere Gas des Düsenquerstromgaserzeugers hat eine geringere Zündgeschwindigkeit als wasserstoffhaltigere Generatorgase und verlangt deshalb eine Anpassung des Motors.

Eine schematische Übersicht über die Vorgänge bei den verschiedenen Vergasungsarten zeigt die von E. Rammler gegebene<sup>1)</sup> Darstellung (Abb. 78). Bild a entspricht dem Hansa-Holzkohlegenerator (Abb. 74), b dem Wisco-Gaserzeuger (Abb. 79), die Schrägvergasung Bild c dem Hansa-Universalgenerator (Abb. 75) und die Querstromvergasung dem Daimler-Benz-Düsengenerator (Abb. 77).

<sup>1)</sup> Zeitschr. VDI 79 (1935), S. 721.

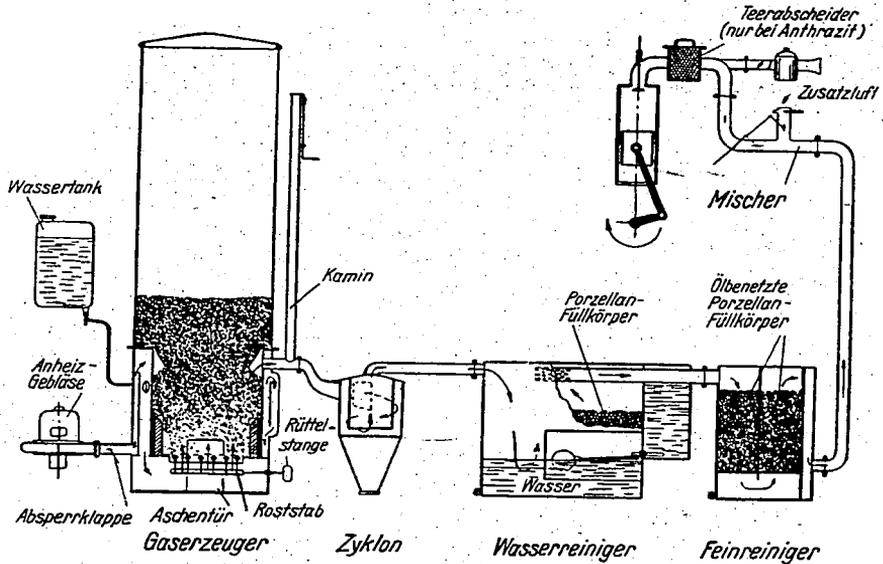


Abb. 79. Wisco-Fahrzeuggeneratoranlage für Schmelkoks oder Anthrazit, Schnittbild der Gesamtanordnung.

### γ) Gasreinigung.

Mehr noch als die Bauart des Gaserzeugers ist die Anordnung der Reinigungsanlagen durch die Betriebsverhältnisse und den Raummangel bedingt. Die Reinigungs- und Kühlapparate haben die Aufgabe, das Gas von der etwa 300—500° betragenden Abgastemperatur möglichst nahe auf Außentemperatur zu kühlen und allen Staub und gegebenenfalls Teerreste zu beseitigen. Staub in größerer Menge und gröberer Form würde im Motor schmirgelnd wirken, Teerteile verkleben Ventile und Kolbenringe und verderben den Ölfilm im Zylinder. Bei der Staubabscheidung muß dafür gesorgt werden, daß dieser sich nicht in toten Leitungsecken oder in Teilen der Reinigungsapparate örtlich so anhäuft, daß der Durchgangswiderstand in einem die Motorarbeit störenden Umfange ansteigt.

Eine eingehende Übersicht über Reinigungsapparate verschiedener Bauarten gibt H. Finkbeiner<sup>1)</sup>.

Wasserkühlung wird, mit Ausnahme des in Naßreinigern gebrauchten Wassers, selten angewandt, weil die Wasserrückkühlung durch einen besonderen Wasserkühler zu viel Platz beanspruchen würde. Im allgemeinen ist die Luftkühlung durch die am Fahrgestell angebrachten Appa-

<sup>1)</sup> Zeitschr. VDI 79 (1935), S. 721.

raté und Rohrleitungen ausreichend, gegebenenfalls wird sie durch zusätzlich verlängerte Rohrleitungen oder Rippenrohre ergänzt.

Für die Staubreinigung werden Beruhigungsbehälter, Prallplattenapparate, Zyklone, Behälter mit Füllkörpern, Filtertücher und ähnliche Einrichtungen getrennt oder in einem Apparat zu mehreren vereinigt angewandt.

Beruhigungsbehälter haben wesentlichen Erfolg nur bei verhältnismäßig großem Rauminhalt. Nach Lentze<sup>1)</sup> wurde bei einem Imbert-Gaserzeuger für einen Omnibus der Gasinhalt der Reinigeranlage absichtlich möglichst groß gehalten, um neben der Staubreinigung eine weitgehende Elastizität des Fahrbetriebes zu sichern.

Prallplatten wirken durch häufigen Richtungswechsel des Gases mit Anprall; sie neigen bei hohem Staubgehalt zu Staubverlagerungen und müssen häufig gereinigt werden.

Zyklone einfacher Bauart sind Blechbehälter, meist runder Form, mit spiraligem Einbau od. dgl., durch die der Gasstrom im Wirbel geführt und der Staub seitlich ausgeschleudert wird (vgl. Abb. 79).

Diese Apparate sind nur als Grobreiniger zu bewerten, die zwar gröberen Staub und einen Teil Feinstaub entfernen, aber nur 60—80% Wirkungsgrad erreichen können.

Zu weitergehender Reinigung werden meist kombinierte Naßreiniger verwandt. Diese enthalten entweder Füllkörper (Raschigringe, Koks, Holzkohle) mit einer Benetzung oder Berieselung von Wasser oder Öl oder eine Wassertauchung, um den Staub anzufeuchten und ihn im feuchten Zustand leichter niederzuschlagen, als es bei trockenem Staub möglich ist. Füllkörperbehälter müssen bei wesentlichem Staubanfall rechtzeitig frisch beschickt werden.

Einen sehr wirksamen »Flüssigkeitsreiniger« zeigt H. Finkbeiner<sup>2)</sup> (Abb. 80). Der in der Wassertauchung angefeuchtete Staub wird in einer Filtermasse festgehalten. Ähnlich arbeitet der Wisco-Wasserreiniger (vgl. Abb. 79). Der Hansa-Universalgenerator hat einen Naßreiniger, nicht mit einfacher Wassertauchwand, sondern mit einem in das Wasser

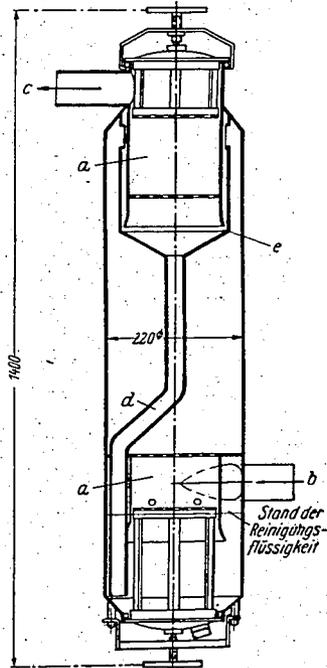


Abb. 80. Flüssigkeitsreiniger.

1) Automobiltechn. Ztg. 37 (1934), S. 289.

2) Zeitschr. VDI 79 (1935), S. 721.

leicht eintauchenden Düsensystem, durch das das Gas ohne starken Druckverlust perlend durch das Wasser geführt wird (vgl. Abb. 75).

Ein Hansa-Ölreiner bewirkt eine gründliche Durchwaschung des in feine Strahlen aufgespaltenen Gasstromes durch ein Ölbad in doppelter Hintereinanderschaltung. Durch Verwendung von Motor-Altöl entstehen keine zusätzlichen Kosten.

Filtertücher haben an sich eine gute Feinreinigungswirkung. Beim Fahrzeugmotor tritt noch der Vorteil hinzu, daß sie sich durch die Erschütterungen des normalen Betriebes ständig wieder freischütteln.

Eine besondere Anordnung bringt der Daimler-Benz-Fahrzeugmotor<sup>1)</sup>, indem er das Gas durch einen mit Holzkohlepulver teilweise gefüllten, oben durch Filtertuch abgeschlossenen Behälter führt. Die im Gasstrom durchgewirbelte Holzkohle wirkt mechanisch staubbindend

und zugleich chemisch reinigend und wird am Filtertuch ständig festgehalten und wieder abgeschüttelt.

Einen großen Fortschritt in der Entwicklung der Fahrzeuggasreinigung stellt der in neuester Zeit zur Anwendung kommende Fliehkraftstauber nach Prof. Dr. Feifel dar<sup>2)</sup>. Er geht von wesentlich anderen theoretischen Grundsätzen aus, als der nur grob reinigende Zyklonreiniger und erreicht durch Ausbildung von Wir-

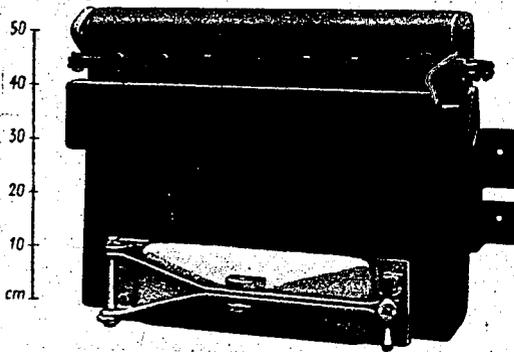


Abb. 81. Wisco-Entstauber nach Prof. Feifel.

bel- und Ruhezonon eine außerordentlich weitgehende Entstaubung auf kleinstem Rauminhalt. Abb. 81 zeigt mit Maßstab die Größenordnung eines Feifel-Entstaubers (Wisco) für einen Lastwagenmotor, der eine Staubentfernung von 97% erreicht. Er gestattet deshalb, die ganze Gasreinigung auf einen solchen Fliehkraftstauber und ein nachgeschaltetes einfaches Ölfilter zu beschränken, wodurch die Gesamtanordnung sehr vereinfacht wird.

H. Finkbeiner beschreibt<sup>3)</sup> eine geeignete Versuchsanordnung zur Prüfung von Reinigungsapparaten.

Staubreinigung ist anzustreben wenigstens bis auf etwa 10 mg/m<sup>3</sup>; dieser Wert ist noch tragbar, da auch angesaugte Straßenluft ähnliche

<sup>1)</sup> H. Brückner, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 449.

<sup>2)</sup> Forschungsarb. auf dem Geb. d. Ing.-Wesens 1938, Nr. 2, S. 68.

<sup>3)</sup> H. Finkbeiner, Zeitschr. VDI 79 (1935), S. 721.

Größenordnung an Staubgehalt erreicht<sup>1)</sup>. E. Rammler und Mitarbeiter<sup>2)</sup> stellten bei ihren Versuchen im Rohgas 2—21 g/m<sup>3</sup> je nach Brennstoffart fest. H. Finkbeiner<sup>3)</sup> fand 10—55 mg/m<sup>3</sup> im Reingas verschiedener Brennstoffarten.

Teerfilter werden, weil die restlichen Teerdämpfe sich z. T. erst nach der Entspannung und dem Kaltluftzutritt in der Mischdüse abscheiden, erst zwischen Mischdüse und Motor angeordnet<sup>4)</sup> (vgl. Abb. 79). Hierzu dienen Stoßfilter, die zur Vermeidung von Verpuffungen bei Rückschlägen mit Sicherheitsvorrichtungen versehen sind<sup>5)</sup>.

#### *δ) Gesamtanordnung und Verwendung von Fahrzeuggeneratoren.*

Im allgemeinen wird der Gaserzeuger neben oder dicht hinter dem Führersitz aufgestellt, die Reinigungsapparate unter der Ladefläche, so daß die Arbeitsnützung des Lastwagens möglichst wenig behindert wird.

Neuartig ist eine italienische Bauart, die den Gaserzeuger mit allem Zubehör in einen Anhänger verlegt<sup>6)</sup>. Diese Anordnung hat einerseits den Vorteil, daß die Lademöglichkeit des Lastwagens unbeeinflusst ist, und daß, besonders bei größeren Fuhrparks, die Auswechslung und Überholung des Gaserzeugersatzes ohne Ausfall des Nutzfahrzeuges oder ohne große Reservehaltung möglich ist.

Fahrzeuggeneratoren arbeiten, wie erwähnt, fast ausschließlich als Sauggaserzeuger, ein von der Fahrzeugbatterie oder von Hand bedienter Hilfsventilator dient nur zum Anheizen oder Wiederanblasen. Humboldt-Deutz gibt auch einen Gaserzeuger an, mit in der Drehzahl regelbarem Gebläse, das von der Stellung der Gasdrosselklappe des Mischventils, also der Motorleistung beeinflusst wird. Eine Automatisierung der Gas- und Luftzufuhr wird in der Literatur mehrfach angeregt.

Die Anwendung der Fahrzeuggaserzeuger ist nicht auf den Lastwagenbetrieb beschränkt, sondern auch für Omnibus- und Triebwagenbetrieb gebraucht, ferner werden sie sowohl in Motorlokomotiven verwandt<sup>7)</sup> als auch vor allem in vielerlei landwirtschaftlichen Fahrzeugen, wie Schleppern, Motorpflügen u. a.<sup>8)</sup>

#### *ε) Leistung, Verbrauch, Wirtschaftlichkeit von Fahrzeuggaserzeugern.*

Wenn ein mit einer Verdichtung von 1:4 bis 1:5 arbeitender Benzinmotor auf Generatorgas umgestellt wird, so geht natürlich die Leistung

<sup>1)</sup> H. Brückner, Gas- u. Wasserfach **80** (1937), S. 448.

<sup>2)</sup> Bericht D 83 des Reichskohlenrates, Feuerungstechnik **27** (1939), S. 99.

<sup>3)</sup> H. Finkbeiner, Zeitschr. VDI **82** (1939), S. 836.

<sup>4)</sup> F. Kolkhorst, Feuerungstechnik **27** (1939), S. 121.

<sup>5)</sup> H. Kurz u. F. Schuster. Koks, Leipzig 1938, S. 290.

<sup>6)</sup> Brennst.-Chemie **20** (1939), S. 237; Petrol. **35** (1939), S. 385.

<sup>7)</sup> Humboldt-Deutz, DRP. 668629.

<sup>8)</sup> H. Mentz, Zeitschr. VDI **82** (1938), S. 57.

dadurch zurück, daß statt des ballastfreien Brennstoffes Benzin ein bereits mit etwa 50% Stickstoffballast beladenes Brenngas zugeführt wird. Dieser Verlust kann durch Erhöhung der Verdichtung auf 1:7 bis 1:9 weitgehend vermindert werden und die Leistung beträgt dann bei 7facher Verdichtung 77%, bei 9facher 85—90% der Normleistung mit Benzin.

Der Brennstoffverbrauch der erwähnten Brennstoffe ist nach verschiedenen Literaturangaben für mittlere Lastwagen etwa folgender:

Holz . . . . .	0,8—1,0 kg/PSH
Braunkohlenschwelkoks . . . . .	0,7—0,8 »
Steinkohlenschwelkoks . . . . .	0,55—0,65 »
Torfkoks . . . . .	0,5—0,55 »
Holzkohle . . . . .	0,4—0,45 »
Anthrazit . . . . .	0,4—0,45 »

Der Wasserverbrauch liegt bei 0,3—0,6 l/kg Brennstoff.

Preisangaben je PSH sind zwecklos, da gerade die Preise dieser Brennstoffe örtlich weitgehend verschieden sind. Fast immer aber wird ein Brennstoff zu beschaffen sein, der auch bei starker Abschreibung der Anschaffungs- und Umbaukosten wirtschaftlicher arbeitet als flüssige Brennstoffe.

Als Berechtigungsnachweis für Schwelkoksverwendung bemerkt E. Rammler<sup>1)</sup>, daß auf gleiche motorische Leistung bezogen, für synthetischen flüssigen Brennstoff die 2½fache Menge Kohle erforderlich ist als für Schwelkoks.

## C. Schwelgeneratoren.

### a) Die Vergasung bituminöser Brennstoffe.

Bituminöse Brennstoffe können, wie z. T. schon ausgeführt, auf verschiedene Weise vergast werden. Jeder normale Gaserzeuger ist an sich außer für Koks auch für solche Brennstoffe geeignet und er wird dann vor allem für Verwendung rohen Heißgases in möglichster Nähe der Verwendungsstelle (Öfen) erstellt und das Gas in ausgemauerten oder außen gut isolierten Rohren dahin geleitet. Der dabei anfallende Teer ist teilweise verkrackt und stark mit Kohlenstoff und Staub verunreinigt. Staub kann z. T. in einem isolierten großen Staubscheider (Beruhigungstopf) trocken abgeschieden werden. Der Teergehalt wird, soweit er sich nicht in zu langen oder zu engen Rohrleitungen absetzt, in der Feuerung mit dem Gas verbrannt. Abgesehen von dem nutzbar gemachten Teerheizwert ist bei dieser Arbeitsweise der Teer nicht viel mehr als eine unerwünschte Begleiterscheinung. Er kann aber auch durch elektrische

<sup>1)</sup> Feuerungstechnik 27 (1939), S. 99.

Teerscheidung (ein- oder zweistufig) oder durch Teerschleudern auf dem Wege zwischen Gaserzeuger und Ofen abgeschieden werden<sup>1)</sup>.

Will man die betrieblichen Schwierigkeiten des Heißbrohgasen oder der Teerabscheidung vermeiden, so kann der bituminöse Brennstoff auch schon im Gaserzeuger verkrackt werden. Dazu dienen die Doppelfeuer- oder Zweifeuergeneratoren oder die Generatoren mit fallender Vergasung (vgl. S. 85, 90).

Diese liefern ein teerfreies Gas, das wie Generatorgas gereinigt und verwendet werden kann.

Legt man dagegen Wert auf die Gewinnung des Teeres, so ist es wichtig, ihn in einer möglichst wenig verunreinigten und gut verkäuflichen Form zu gewinnen und in möglichst vollständigem Umfange. Diese Forderungen können nicht durch einen üblichen Gaserzeuger erfüllt werden, sondern nur durch einen Gaserzeuger mit Schwelaufsatz (Schwelgenerator).

#### b) Brennstoffe für Schwelgeneratoren.

Die Entwicklung der Schwelgeneratoren ist zeitlich und örtlich bedingt gewesen; zeitlich durch das besonders in der Kriegszeit nach 1914 gestiegene Interesse an der Urteergewinnung und örtlich nach dem Vorhandensein geeigneter Brennstoffe. Nach 1914 wurde vor allem die Steinkohlenschwelung außer anderen Arbeitsweisen auch im Schwelgenerator vielfach versucht und hat sich seitdem in Oberschlesien mit den dort greifbaren besonders geeigneten Steinkohlensorten stärker eingeführt. Immerhin zeigt die Anwendung der Generatorschwelung starke Abhängigkeit vom gleichzeitig gesicherten Absatz für Gas und Urteer. Die neuere Entwicklungsrichtung geht deshalb dahin, daß Steinkohlenschwelteer bevorzugt in Schwelöfen hergestellt wird. Über die Grundlage neuzeitlicher Steinkohlenschwelung und die diesen entsprechenden Schwelöfen wird auf den betr. Sonderabschnitt verwiesen<sup>2)</sup>. Für Schwelgeneratoren dagegen werden neben örtlich noch vorkommender Steinkohlenverwendung meist stückige, lignitische Braunkohlen und Braunkohlenbriketts bevorzugt. Auch Torf wird bei frachtgünstiger Lage in vorgetrockneter oder gepreßter Form in Schwelgeneratoren mit wirtschaftlichem Erfolg durchgesetzt.

#### c) Bauarten und Betriebsweise von Schwelgeneratoren.

Der zunächst versuchte Weg, einen Schweleinsatz in den Gaserzeuger einzuhängen (Deutsche Mondgas-Ges., Lurgi-Ges.<sup>3)</sup>), der durch die Gaswärme von außen erhitzt und von einem Teil des Gases durchströmt und

<sup>1)</sup> Handbuch der Gasindustrie, III, 1, S. 92, 96.

<sup>2)</sup> Handbuch der Gasindustrie, VI, 2, S. 2.

<sup>3)</sup> Dr. H. Winter, Taschenbuch für Gasw. u. Kok., Halle 1928, S. 435.

abgeschwelt wurde, ist zugunsten des auf den Generator aufgebauten Schwelaufsatzes verlassen worden.

Gaserzeuger mit Schwelaufsatz unterscheiden sich im Unterteil, dem eigentlichen Gaserzeuger, grundsätzlich kaum von den üblichen Gaserzeugerbauarten. Sie zeigen daher im wesentlichen die in den vorstehenden Abschnitten beschriebenen Bauarten und von den einzelnen Baufirmen entwickelten Besonderheiten hinsichtlich Drehrost, Ascheaustragung, Tauchring usw. Der Generatormantel wird, zumal bei aschearmen Brennstoffen, noch vielfach ganz ausgemauert, aber bei

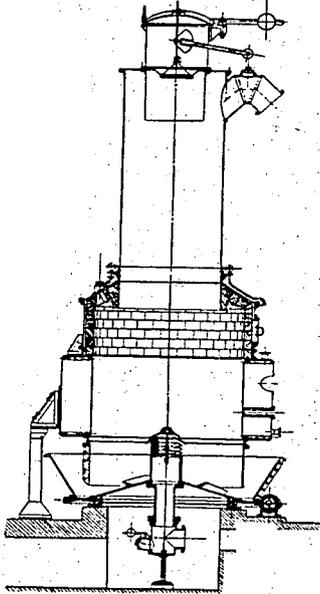


Abb. 82. Schwelgenerator.

hohem Aschegehalt und wenn Wasserdampf nicht zur Verfügung steht, wird auch der Niederdruck-Dampfmantel (Kollergas, Lurgi u. a.) oder der Heißwassermantel (Deutz) immer mehr angewandt. Abb. 82 zeigt einen Schwelgenerator, dessen Generatormantel in Höhe der Reaktionszone als Niederdruck-Dampfkessel gebaut ist, mit aufgesetztem, ausgemauertem Schachtteil. Der Schwelaufsatz ist ein Blechzylinder, der zum Schutz des Blechmantels und zur Wärmeisolierung ausgemauert ist. Der Blechmantel bzw. die Ausmauerung ist im allgemeinen zylindrisch, doch wird letzterer auch eine nach unten schwach konisch erweiterte Form gegeben, um einwandfreies Nachsinken des Brennstoffs zu sichern (bei Braunkohle kaum erforderlich). Der Durchmesser des Schwelaufsatzes ist geringer als der Gaserzeuger-Schachtdurchmesser; in dem durch diese Verringerung gebildeten ringförmigen Generatordeckelteil befinden sich die Stochlöcher, deren Verschlüsse mit Dampf oder Windschleier geschützt sind (vgl. S. 54). Von diesen Stochlöchern aus ist der Gaserzeugerschacht gegebenenfalls leicht zu bearbeiten.

Die Höhe des Schwelaufsatzes ist etwa die gleiche, wie die des Gaserzeugers vom Schüsselboden bis zu den Stochlöchern. Nur bei Verarbeitung sehr nasser Brennstoffe, die für ausreichende Trocknung einen längeren Sinkweg brauchen, muß der Schwelschacht u. U. höher genommen werden.

Da der Schwelschacht immer gut gefüllt sein muß, um dem Brennstoff die nötige Berührungszeit mit dem heißen Gas zu geben, und da außerdem der Schwelschachtdurchmesser verhältnismäßig gering und der Brennstoff meist grob gekörnt ist, ist die Gefahr einer Entmischung beim Füllen nicht erheblich und es erübrigt sich der Einbau eines Brenn-

stoffverteilers. Es wird nur durch Einhängen eines nach unten verlängerten Fülltrichterzylinders für einen Gasabgang-Ringraum oben gesorgt (Abb. 82). Zum Einbringen des Brennstoffs dienen Doppelverschlüsse oder auch seitlich aufgeschobene Füllgefäße, wie bei Sauggasgeneratoren (Abb. 59, 60).

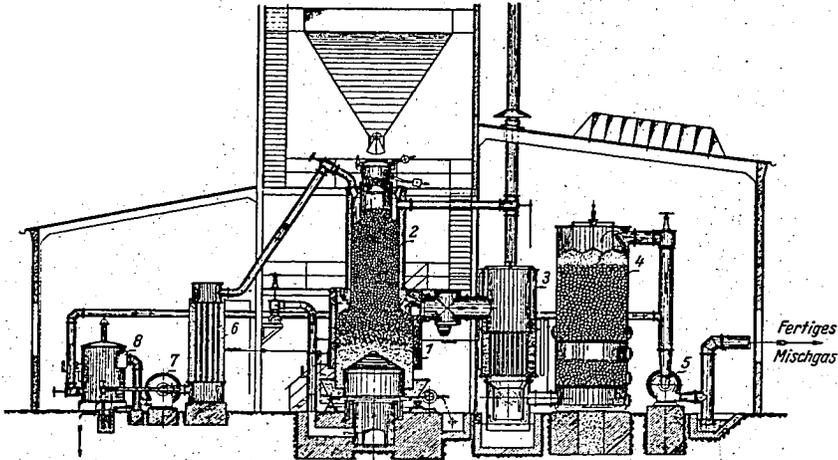
In der Betriebsweise der Schwelgeneratoren sind zwei grundsätzlich verschiedene Arbeitsweisen zu unterscheiden, die einen verschiedenen Aufbau des Generators und der Gasförder- und Reinigungsapparaturen bedingen, und zwar einerseits die Durchleitung des gesamten Vergasungsgases aus dem Generator durch den Schwelschacht, andererseits die teilweise getrennte Abführung von Generatorgas und Schwelgas.

Die erstere Anordnung, der der Schwelgenerator nach Abb. 82 entspricht, wird hauptsächlich für Braunkohlen und Braunkohlenbriketts sowie für Torf verwendet. Infolge des hohen Wassergehaltes dieser Brennstoffe und infolge des nicht allzu hohen Reinkohleghaltes wird die Temperatur des Gases im Schwelschacht kaum so hoch gesteigert, daß eine Zersetzung des Urteers erfolgen kann. Bei etwa 550° werden bereits hochwertige Kohlenwasserstoffe unter Abscheidung von Ruß und Naphthalin zerschlagen. Die Gasabgangstemperaturen des Schwelschachtes kommen selbst bei verhältnismäßig wasserarmen Briketts mit 15% Wassergehalt kaum über 150—180°, bei starker Belastung, also reichlichem Gasdurchgang, auch bis 250°; Temperaturen über 500° sind also bei diesem Material in der Schwelzone nicht zu erwarten.

Schwelgeneratoren dieser Bauart werden wie andere Generatoren mit Windgebläse betrieben, dessen Leistung nach der Gasmenge oder auch nach der Gasaustrittstemperatur geregelt wird. Das abziehende Generatorgas-Schwelgas-Gemisch wird gekühlt und entteert. Die Entteerung erfolgt durch Teerscheider, Teerschleuderväscher oder ein- bis zweistufige Elektroteerscheidung. Die Kühlung in Röhrenkühlern wird je nach den Betriebsverhältnissen vor, zwischen oder nach der Teerscheidung angeordnet.

Wird im Schwelgenerator Steinkohle verarbeitet, so ist einerseits der Wasserdampfanfall viel geringer, andererseits ist das Mengenverhältnis der Schweldämpfe zu dem bei der Vergasung des Koksrestes entstehenden Generatorgas sehr nach dem letzteren verschoben, so daß bei völliger Durchleitung dieses Gases durch den Schwelschacht dieser zu heiß gehen würde. Ebenso kann u. U. bei Betrieb mit vorgetrockneter Braunkohle der gleiche Fall eintreten. In diesem Falle muß der Schwelaufsatz von einem Teil des Generatorgases entlastet werden. Das Schwelgas zieht dann nur mit einem Teil des Schwachgases gemischt oben am Schwelschacht in der vorbeschriebenen Form ab und wird ebenso durch die Kühlung und Teerscheidung geleitet. Das für die Schwelung nicht erforderliche Generatorgas wird getrennt abgeführt, aus dem Ringraum, der sich unterhalb des Schwelzylinders im Generator-

unterteilt durch den Schüttkegel zwischen Gaserzeuger und Schwelaufsatz bildet (Abb. 83). Für dieses Generatorgas ist eine getrennte Kühlung und Staubreinigung vorhanden, in den bei Schwachgaserzeugern üblichen Anordnungen (vgl. S. 63). Während für den Schwelgenerator mit nur einem Abgang das Windgebläse als Mengengeber genügt und ein auf der Gasabgangeite eingesetzter Teerschleuderswischer nicht als Gasfördermittel notwendig ist, muß bei doppeltem Gasabgang die Belastung der beiden Gaswege nebeneinander abgestimmt werden. Beide Gaswege, Schwel-Schwachgas-Gemisch und Schwachgas, vereinigen sich hinter ihren Reinigungsanlagen als Mischgas. Die Mengenregelung



Teerablauf

- Abb. 83. Schwelgeneratoranlage mit geteiltem Gasabgang.
- |                 |                |                    |
|-----------------|----------------|--------------------|
| 1 Generator     | 4 Skrubber     | 7 Schwelgasgebläse |
| 2 Schwelschacht | 5 Mischgebläse | 8 Teerscheider     |
| 3 Verdampfer    | 6 Röhrenkühler |                    |

kann nun so erfolgen, daß das Schwelgas durch einen geregelten Sauger weggeholt und dem durch den Generatorwinddruck weggeführten Schwachgas zugebracht wird, oder Schwelgas und Schwachgas erhalten je einen Gassauger, oder es kann auch ein Gassauger hinter der Vereinigungsstelle beider Gase stehen (Abb. 83), außer dem beibehaltenen Schwelgasgebläse.

Wird schwefelwasserstoffreies Reingas für einen Verwendungszweck gebraucht, so kann in die Schwelgas- oder Mischgasleitung eine Reinigungsapparatur eingeschaltet werden.

Die Gasbeschaffenheit des Schwelgeneratorgases unterscheidet sich von dem aus Braunkohlengeneratoren gewonnenen (Zahlentafel 2, S. 24) durch etwas höheren Gehalt an Methan und schweren Kohlen-

wasserstoffen, ferner durch mehr Kohlensäure, dafür aber weniger Stickstoff. Der Heizwert ( $H_u$ ) liegt durch die höherwertigen Kohlenwasserstoffe bei 1600—1700 kcal/m<sup>3</sup>.

Bei Braunkohlengasen und bei Schwelgeneratorgasen ist das anfallende Schwelwasser eine störende Begleiterscheinung, da es wegen seines Gehaltes an Phenolen und anderen störenden organischen Verbindungen im allgemeinen nicht in die Kanalisation oder Flüsse abgeleitet werden darf. Es sind deshalb verschiedene Wege versucht worden, das anfallende Schwelwasser zu vernichten.

Bei dem in Abb. 15 (S. 34) gezeigten Gaserzeuger wurde das Schwelwasser in dem korbartigen Seitenrost zur Kühlung und zur Schwadenerzeugung für die Unterwindsättigung verwendet.

Das einfache Verdampfen des Schwelwassers ist schwierig, da es leicht schäumt und Krusten bildet, die dann den Wärmeübergang hindern. In einer Einrichtung von Poetter<sup>1)</sup> zur Beseitigung von Gaswasser wird das vorgewärmte Schwelwasser in den überhitzten Unterwindstrom eingenebelt und dadurch so schnell verdampft, daß die genannten störenden Erscheinungen nicht auftreten. Das Dampfluftgemisch tritt noch überhitzt in den Generator. Den Kosten der Winderhitzung steht ein Gewinn durch Verbesserung der Gasbeschaffenheit gegenüber, abgesehen von dem Vorteil der vollständigen Vernichtung des anfallenden Schwelwassers.

Andere Verfahren zur Schwelwasservernichtung (Kollergas, Lurgi) verwenden einen dreiteiligen Kühlersättiger (Abb. 84), in dem oben ein Gas-Wasserröhrenkühler, in der Mitte ein Gas-Rieselkühler, unten ein Windsättiger eingebaut ist. Das von einem Elektrotheaterscheider kommende heiße Gas tritt in den in der Mitte befindlichen Rieselkühler ein, der mit Schwelwasser aus der oberen Kühlstufe berieselt wird. Dieses Rieselwasser wird dadurch so erhitzt, daß es beim unmittelbar anschließenden Verrieseln in der untersten Kammer den dort durchgeleiteten Generatorunterwind sättigt. Das in der mittleren Kammer durch die Berieselung vorgekühlte Gas geht zur weiteren Kühlung nach oben durch den Wasserröhrenkühler, das Schwelwasserkondensat der oberen Kühlstufe sammelt sich mit etwaigem Überschuß aus der Windsättigungsstufe im

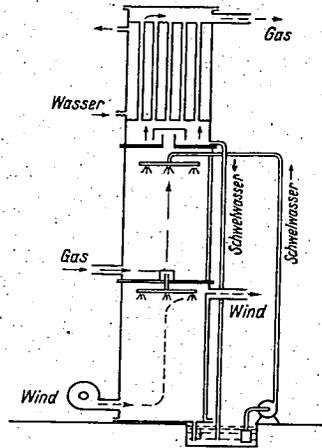


Abb. 84.  
Schwelwasservernichtung.

<sup>1)</sup> Poetter, DRP. 641369.

Sammelbehälter der Schwelwasserpumpe. Abb. 84 zeigt diese Arbeitsweise schematisch, sie wird je nach Betriebsverhältnissen in geeigneter Form angeordnet.

Deutz-Anlagen erwärmen das Schwelwasser durch Überschußdampf vom Generator auf ca. 80° und beregnen mit diesem Heißwasser einen Windsättiger, dem der Wind ebenfalls durch Überschußdampf vorerhitzt zugeführt wird.

## D. Generatoren für Wassergas.

### 1. Wassergas.

#### a) Geschichtliches.

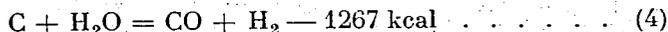
Daß durch Einwirken von Wasserdampf auf glühenden Kohlenstoff ein brennbares Gas entsteht, wurde schon von Fontana (1781) und von Lavoisier (1783) berichtet<sup>1)</sup>. In technischem Maßstabe wurde es erstmalig nach 1870 von Lowe hergestellt<sup>2)</sup> und in der Folgezeit in der Industrie zum Schweißen und Heizen angewandt.

In der Gasindustrie führten sich zunächst Anlagen für karburiertes Wassergas ein, weil sie gegenüber Ofenanlagen verhältnismäßig schnell betriebsbereit waren und sich daher besonders zur Spitzendeckung bei sehr ungleichmäßiger Gasabgabe eigneten, ferner weil sie ein gut leuchtendes Gas lieferten.

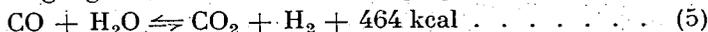
Die Blauwassergaserzeugung erreichte erst Bedeutung, als durch Einführung der Krummhübler Richtlinien für die Gasbeschaffenheit<sup>3)</sup> ein Gas mit verringertem Heizwert und geringem Gehalt an inerten Bestandteilen gefordert wurde. Dieses war mit Wassergaszusatz besser zu erreichen, als mit dem sonst üblichen Zusatz von Generatorgas oder Ansaugen von Rauchgas.

#### b) Chemische und Physikalische Vorgänge der Wassergaserzeugung.

Wie schon bei der Generatorgaserzeugung (Halbwassergasprozeß) ausgeführt wurde (S. 8), erfolgt die Wassergasumsetzung nach der Gleichung:



als primärem Vorgang und nach dem Wassergasgleichgewicht,



sekundär oder gleichzeitig. Die frühere Annahme, daß bei niedriger Temperatur auch die Umsetzung



<sup>1)</sup> P. Dolch, Gas- u. Wasserfach 79 (1938), S. 799.

<sup>2)</sup> B. Neumann, Chem. Technologie, Leipzig 1912.

<sup>3)</sup> Gas- u. Wasserfach 64 (1921), S. 424; 68 (1925), S. 609.

primär auftreten, gilt nach eingehenden Versuchen von P. Dolch<sup>1)</sup> und anderen nicht mehr.

Das Wassergasgleichgewicht (5) ist, wie das Generatorgasgleichgewicht, eine umkehrbare Reaktion. Ist die Temperatur im Brennstoffbett durch genügendes Heißblasen oder sonstiges Erhitzen sehr hoch, also reichlicher Wärmeverrat vorhanden, so überwiegt nach thermodynamischen Grundsätzen die wärmeverbrauchende Umsetzung von rechts nach links, also Bildung eines CO-reichen Gases. Mit abfallender Generator Temperatur während des Gasens kehrt die Umsetzung schließlich von links nach rechts um und gibt ein kohlsäurereiches Gas. Es muß betont werden, daß diese Wassergas-Gleichgewichtsreaktion eine Umsetzung in der reinen Gasphase ist, ohne Beteiligung des festen Brennstoffs; neben dieser Reaktion geht die Wassergasbildung nach (4) an der Brennstoffschüttung ständig weiter.

Die theoretische Zusammensetzung des stickstoff-freien Wassergases im Gleichgewicht bei den verschiedenen Temperaturen gibt Zahlentafel 5<sup>2)</sup>. Die Gleichgewichtskonstante der Umsetzung,

$$k = \frac{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]}$$

ist ebenfalls beigelegt<sup>3)</sup>.

Zahlentafel 5.

Theoretische Wassergaszusammensetzung im Gleichgewicht (Vol.-%, bezogen auf trockenes Gas).

Temperatur	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	Gleichgewichtskonstante
1200°	—	50,0	50,0	1,972
1000	0,3	49,5	50,2	1,617
800	2,6	46,1	51,3	0,966
600	20,3	19,2	60,5	0,372
400	33,1	0,2	66,6	—

Diese Gleichgewichte werden bei der hinsichtlich Temperatur und Dampfgeschwindigkeit betriebsüblichen Arbeitsweise der Koks-Wassergasgeneratoren nicht erreicht, wie durch die Versuche von W. Horak<sup>4)</sup> und von F. W. Herbordt<sup>5)</sup> bestätigt wurde. P. Dolch stellte ebenfalls fest<sup>6)</sup>, daß Steinkohlen-Hochtemperaturkoks infolge seiner relativen Reaktions-trägheit zunächst nach (4) keine vollständige Dampfumsetzung erreicht,

<sup>1)</sup> P. Dolch, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 807, 975. — »Wassergas«, Leipzig 1936.

<sup>2)</sup> W. J. Müller u. E. Graf, Brennstoffchem. 20 (1939), S. 244.

<sup>3)</sup> Gaskursus, München 1927, S. 90.

<sup>4)</sup> W. J. Müller u. E. Graf, Brennstoffchem. 20 (1939), S. 241.

<sup>5)</sup> F. W. Herbordt, D. Licht- u. Wasserf.-Ztg. 31 (1937), S. 183.

<sup>6)</sup> P. Dolch, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 807.

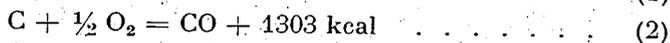
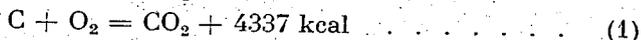
daß aber daneben trotz dadurch bedingtem Dampfüberschuß das Wassergasgleichgewicht (5) nicht völlig eintritt. Dagegen erreichte P. Dolch bei Verwendung von Braunkohlen-Schwelkoks das Wassergasgleichgewicht nahezu vollständig. Auch E. Terres fand<sup>1)</sup> bei vergleichender Untersuchung verschiedener Verkokungsprodukte bei verschiedenen Temperaturen, daß für die reaktionsfähigeren Koks mit steigender Temperatur die Annäherung an das Wassergasgleichgewicht steigt.

Die Tatsache, daß der Stand des Gleichgewichtes temperaturabhängig ist, ist wichtig für verschiedene Sonderprozesse, bei denen ein mehr H<sub>2</sub> oder CO<sub>2</sub> enthaltendes Gas erwünscht ist, z. B. für einige Synthesen.

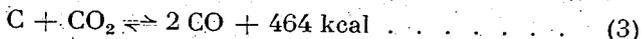
Für die übliche technische Wassergaserzeugung ergibt sich aber die Notwendigkeit, die Aufheizung der Brennstoffsäule vor dem Gasen so weit zu treiben, daß mindestens Temperaturen von 1000° überschritten sind, bevor der Wasserdampf zugeleitet wird.

Diese Aufheizung erfolgt, abgesehen von Sonderfällen der ununterbrochenen Beheizung, auf die gesondert zurückzukommen ist, im allgemeinen durch das mit den Gaseperioden wechselnde Heißblasen im sog. Wechselbetrieb.

Der Vorgang des Heißblasens vollzieht sich grundsätzlich nach den früher erwähnten (S. 8) Regeln der Generatorgasbildung (Luftgas) der Oxydation des Kohlenstoffs zu CO<sub>2</sub> bzw. CO:



und nach dem Generatorgasgleichgewicht



Der Prozeß verläuft allerdings anders, als etwa in dem ebenfalls mit Luft betriebenen, aber ständig gleichmäßig geblasenen Abstichgenerator, dessen Gas sich etwa auf den der durchschnittlichen Brennstofftemperatur und Luftzufuhr entsprechenden Gleichgewichtszustand einstellt. Es wird beim Heißblasen vielmehr mit großer Strömungsgeschwindigkeit, also großer Luftmenge, auf möglichst vollständige Verbrennung von Koks nach (1) unter größtmöglicher Wärmeentwicklung gearbeitet. Die Strömungsgeschwindigkeit darf allerdings nicht beliebig gesteigert werden, weil neben etwas mehr CO<sub>2</sub>-Erzeugung zugleich der Wärmeverlust durch vergrößertes Abgasvolumen steigen würde. Die üblichen günstigsten Blasegeschwindigkeiten sind deshalb versuchsmäßig als wärmetechnisch beste Werte festgestellt<sup>2)</sup>. Mit Zunahme der Temperatur der Kokssäule nimmt, wie früher ausgeführt (S. 8), die Reaktionsgeschwindigkeit des Generatorgasgleichgewichtes (3) von links nach

<sup>1)</sup> E. Terres u. Mitarb., Gas- u. Wasserfach 77 (1934), S. 585, 705.

<sup>2)</sup> W. J. Müller u. E. Graf, Brennstoffchem. 20 (1939), S. 245.

rechts zu und der CO-Gehalt des Blasegases steigt, führt also zu Wärme- und Brennstoffverlusten, wenn die Blasedauer zu lang gewählt wird, d. h. der Wirkungsgrad des Heißblasens wird mit steigender Temperatur immer schlechter. Hohe Reaktionsfähigkeit des Kokes, die für die Wassergasbildung an sich erwünscht ist, wirkt also beim Blasen infolge zu rascher Temperatursteigerung weniger günstig.

Die Blasedauer bzw. das Verhältnis von Blasezeit zu Gasezeit ist im Laufe der Wassergaspraxis sehr verschieden gehandhabt worden. Hauptsächlich zu unterscheiden sind 3 Arbeitsweisen<sup>1)</sup>:

Das älteste Verfahren war das der Europäischen Wassergasgesellschaft. Es arbeitete mit geringer Windgeschwindigkeit, daher langer Blasedauer von 15 bis 20 min, dagegen mit verhältnismäßig kurzer Gasezeit von 4 bis 6 min; letztere Kurzdauer war begründet in hoher Dampfgeschwindigkeit, durch die der Kohlensäureanstieg sehr beschleunigt wurde.

Gegenüber diesem wenig produktiven Zeitverhältnis verwandte das Dellwick-Fleischer-Verfahren beim Blasen hohe Windgeschwindigkeit und dementsprechend kürzere Blasezeiten von nur 3 bis 4 min und eine lange Gasezeit von 12 bis 17 min mit geringer Dampfgeschwindigkeit. Letztere war notwendig, weil die kurze Blasezeit keine sehr hohe Generatortemperatur erreichte.

Zwischen diesen beiden Extremen fand Strache auf Grund eingehender Berechnungen und Betriebsversuche einen Mittelweg. Diese in neuerer Zeit meist übliche Arbeitsweise verkürzt die Blasezeit bei starker Windgeschwindigkeit auf 1—2 min und die Gasezeit auf 2 bis 5 min. Das Verhältnis Blasezeit zu Gasezeit beträgt meist 1:3 bis 1:4. Der Vorteil dieser Arbeitsweise liegt darin, daß sowohl die Erzeugungsmenge in der Zeiteinheit, wie auch die Gasausbeute auf den Brennstoffdurchsatz bezogen, besser sind, als bei den älteren Verfahren. Trotzdem weichen die in verschiedenen neuzeitlichen Anlagen anzutreffenden Periodenzeiten noch wesentlich voneinander ab, begründet durch Reaktionsfähigkeit und Körnung des Kokes, Größe und Belastung bzw. tägliche Betriebszeit der Anlage, Dampfdruck und Dampfgeschwindigkeit, Betriebsüberwachung und andere örtlich verschiedene Einflüsse.

Als grundlegende Arbeiten über Theorie und Praxis der Wassergaserzeugung, die noch heute größtenteils Gültigkeit haben, sind die Mitteilungen von R. Geipert<sup>2)</sup> und H. Strache<sup>3)</sup> zu nennen.

Ein Rechnungsbeispiel des »Gaskursus«<sup>4)</sup>, das von einem üblichen Wassergas mit 5% CO<sub>2</sub>, 40% CO, 50% H<sub>2</sub>, 0,5% CH<sub>4</sub> und 4,5% N<sub>2</sub> ausgeht, sowie ein Blasegas mit durchschnittlich 12% CO<sub>2</sub> und 14,8%

<sup>1)</sup> P. Dolch, Wassergas, Leipzig 1936.

<sup>2)</sup> R. Geipert, Gas- u. Wasserfach **65** (1922), S. 441, 457.

<sup>3)</sup> Strache, Gas- u. Wasserfach **65** (1922), S. 697.

<sup>4)</sup> K. Bunte u. A. Schneider, Zum Gaskursus, München 1929, S. 94.

CO annimmt, kommt zu folgendem Ergebnis der Kohlenstoffverteilung auf die Einzelfunktionen des Wassergasprozesses, auf 1000 m<sup>3</sup> Erzeugung bezogen:

C-Gehalt des Wassergases . . . . .	24,3 kg C =	41,2%
Aufwand für die Wärmetönung des Wassergasprozesses . . . . .	9,85 » » =	16,7%
Aufwand zur Deckung des Wärmeinhaltes des Wassergases . . . . .	6,85 » » =	11,6%
Aufwand zur Deckung des Wärmeinhaltes des unzersetzten Wasserdampfes . . . . .	0,8 » » =	1,3%
Aufwand zur Deckung des Wärmeinhaltes der Blasegase . . . . .	17,2 » » =	29,2%
	<hr/>	
	59,0 kg C =	100%

Einschließlich des C-Verlustes in der Schlacke und eines Betrages für Strahlung und Leitung wird für die vorgenannten Betriebsbedingungen ein C-Verbrauch von 0,63 kg/m<sup>3</sup> Wassergas angenommen, oder von einem Koks mit 85—87% Reinkoks etwa 0,73 kg Rohkoks je m<sup>3</sup>. — Das Verhältnis Blasegas zu Wassergas stellt sich auf etwa 1,5 m<sup>3</sup> Blasegas für 1 m<sup>3</sup> Wassergas. — P. Dolch<sup>1)</sup> gibt das C-Verhältnis des Blasegases zu dem des Wassergases mit 114:100 an.

Sehr eingehende und vielseitige Berechnungen über die Erzeugung eines Wassergases mit ebenfalls 5% CO<sub>2</sub>, 40% CO, 50% H<sub>2</sub> und 5% N<sub>2</sub> nebst Blasegas von im Mittel 10% CO<sub>2</sub> und 18% CO geben W. J. Müller und E. Graf<sup>2)</sup> mit folgenden Ergebnissen: Auf 1 m<sup>3</sup> trockenes Wassergas werden 1,9 m<sup>3</sup> Blasegas aus 1,73 m<sup>3</sup> Vergasungsluft erzeugt. — Der Reinkoksverbrauch, für das Blasen mit 0,25 kg/m<sup>3</sup> Wassergas berechnet und für das Gasen mit 0,3 kg/m<sup>3</sup>, gibt einen Rohkoksverbrauch von 0,65 kg/m<sup>3</sup> oder eine Wassergaserzeugung von 1,5 bis 1,6 m<sup>3</sup>/kg Rohkoks. — Bei den hierfür angenommenen Arbeitsbedingungen (3 m Generator-Dmr., Erzeugung 4000 m<sup>3</sup>/h in etwa 15 Gängen je h, Koks-Schüttgewicht 0,6 t/m<sup>3</sup>, 1 m wirksame Schütthöhe) werden folgende Einzelheiten errechnet:

Sekundliche Windmenge . . . . .	5,8 Nm <sup>3</sup>
Sekundliche Blasegas- erzeugung . . . . .	6,4 » bzw. 32 m <sup>3</sup> bei 1100° im Generator
Sekundliche Wassergas- erzeugung . . . . .	1,7 » » 8,5 » » 1100° » »

mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Generator, auf freien Raum zwischen der Koksfüllung und auf Generatortemperatur von etwa 1100° bezogen,

für Blasegas 8 m/s, für Wassergas 2,1 m/s.

<sup>1)</sup> P. Dolch, Wassergas, Leipzig 1936.

<sup>2)</sup> W. J. Müller u. E. Graf, Brennstoffchem. 20 (1939), S. 244.

Auch andere Veröffentlichungen, z. B. R. Geipert<sup>1)</sup>, rechnen mit 0,6 kg Gesamtem Koksverbrauch je m<sup>3</sup> Wassergas und ähnlichen Werten.

Über den Dampfverbrauch sind die Angaben verschieden. Als theoretischer Bedarf für ein Wassergas üblicher Zusammensetzung werden 0,38—0,42 kg/m<sup>3</sup> genannt. W. Fitz gibt<sup>2)</sup> als praktischen Verbrauch 0,55 kg/m<sup>3</sup>, andere Feststellungen<sup>3)</sup> 4) liegen bei 0,7—0,72 kg/m<sup>3</sup> Wassergas; letztere Werte entsprechen einer 55—60proz. Dampfumsetzung.

Die Wirkungsgrade des Heißblasens und Gasens liegen entgegengesetzt gerichtet; der des Heißblasens nimmt, wie oben erwähnt, mit steigender Temperatur ab und beträgt<sup>5)</sup>

bei 650°	ca. 95%
» 900°	» 40%
» 1700°	» 0%

Der Wirkungsgrad des Gasens dagegen nimmt mit steigender Temperatur zu, allerdings bei Temperaturen über 1000° geht er infolge des zunehmenden Abhitzeverlustes wieder etwas zurück.

Der Gesamtwirkungsgrad ergibt sich aus der Summe der beiden vorgenannten Wirkungsgrade und zeigt einen Bestwert von 73% bei 800—900°. Dieser Bestwert kann aber nicht allein maßgebend sein für die Arbeitsweise, denn wenn mit 800—900° Generator Temperatur gearbeitet würde, würde der Nutzeffekt des Gasens zu schnell nach rückwärts abfallen. Abb. 85 zeigt den Verlauf dieser Wirkungsgrade in Abhängigkeit von Temperatur und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Abgase<sup>6)</sup>. Der Gesamtwirkungsgrad der üblichen Wassergaserzeugung bei 1000° liegt um 60 bis 50%.

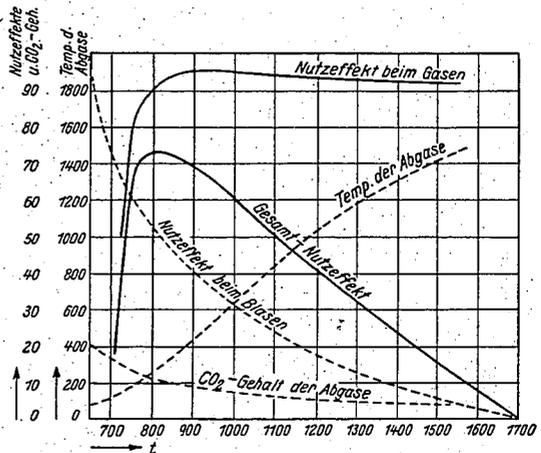


Abb. 85. Abhängigkeit der Nutzeffekte der Wassergaserzeugung von der Generator-Temperatur.

- 1) R. Geipert, Gas- u. Wasserfach **65** (1922), S. 441.
- 2) H. Winter, Taschenbüch f. Gasw. u. Kok., Halle 1928, S. 116.
- 3) F. Wehrmann, Gas- u. Wasserfach **70** (1927), S. 1104.
- 4) H. Entner, Gas- u. Wasserfach **75** (1932), S. 453.
- 5) R. Geipert, Gas- u. Wasserfach **65** (1922), S. 441.
- 6) H. Strache, Gas- u. Wasserfach **65** (1922), S. 697.

Die aus vorerwähnten chemischen und physikalischen Grundlagen folgende betriebsmäßige Arbeitsweise weist Verschiedenheiten auf bei der Arbeit im Wechselbetrieb oder ununterbrochenem Betrieb, handbedient oder automatisch, mit und ohne Karburierung. Deshalb ist auf diese Maßnahmen und Unterschiede bei Beschreibung der einzelnen Verfahren zurückzukommen.

### c) Brennstoffe für Wassergaserzeugung.

Der meistgebrauchte Brennstoff für Wassergasanlagen ist Steinkohlen-Hochtemperaturkoks. Allerdings ist nicht jeder Koks gleich geeignet. Zu weicher, klüftiger Gaskoks ist wegen des zusätzlichen Zerfalls beim Einfüllen und beim Durchgang durch den Generator physikalisch ungeeignet. Zu harter Gießereikoks ist für die im Wassergasgenerator in Frage kommende Durchlaufzeit durch die Brennstoffschichthöhe zu wenig reaktionsfähig; er verläßt den Generator halbverbraucht und ergibt dadurch hohen Koksverlust in der Schlacke. Ein dichter Koks aus Gemischen von Gas- und Fettkohle ist besonders geeignet, da er sowohl genügend standfest wie genügend reaktionsfähig ist.

Zur Erreichung der notwendigen Strömungsgeschwindigkeit wird möglichst grobstückiger Koks verlangt. Die Sortierungen über 90 mm oder 60/90 mm werden daher meist angewandt, aber auch in Mischung mit 40/60 mm oder mit letzterer Körnung allein ergeben sich noch keine Schwierigkeiten. Darüber hinaus wurde betriebsmäßig erwiesen, daß auch Nußkoks 20/40 in etwas angepaßter Arbeitsweise für Wassergaserzeugung brauchbar ist<sup>1)</sup>. Die dichtere Lage dieses Brennstoffs erfordert, infolge der Durchgangshemmung für den Wind, eine Verkürzung von Blase- und Gasezeit. Wassergaserzeugung aus Kleinkoks 10/20 mm ist aber nicht möglich, da der Wind sich zu schlecht verteilt und örtlich zu stark verschlackend wirkt.

Außer Hochtemperaturkoks sind natürlich auch sonstige Brennstoffe für Wassergaserzeugung versucht worden. Größere Reaktionsfähigkeit verlangt sehr vorsichtiges Heißblasen. Bituminöse Brennstoffe kommen für den üblichen Wassergasgenerator nicht in Frage, da der Teergehalt größtenteils beim Blasen vernichtet würde, nur in Verbindung mit Spülgasschwelung werden auch Braunkohlen, Braunkohlenbriketts und Torf für Wassergaserzeugung verwendet.

Über vielseitige amerikanische Versuche, Steinkohlen unmittelbar im üblichen Wassergaserzeuger zu vergasen, berichtete Fulweiler auf der Weltkraftkonferenz in Pittsburgh 1926<sup>2)</sup>. Sie zeigten ähnliche Schwierigkeiten, wie sie hier in den Anfängen der Doppelgaserzeugung auftraten, insbesondere zu hohen Blasegasverlust und verringerte Durch-

<sup>1)</sup> F. Wehrmann, Licht u. Wasser (1937), S. 133.

<sup>2)</sup> J. Gwosdz, Gas- u. Wasserfach 71 (1928) S. 1233.

satzleistung wegen erschwerten Winddurchgangs. Die Bauarten, die schließlich mit einigem Erfolg arbeiteten, entsprechen unseren Doppelgasanlagen<sup>1)</sup>, nicht einem eigentlichen Wassergaserzeuger.

Sonst aber sind vor allem sämtliche Verkokungsprodukte geeignet. Als Reihenfolge der Reaktionsfähigkeit ermittelten K. Bunte und A. Gießen<sup>2)</sup>: Grude naß gelöscht, Holzkohle, Grude trocken gekühlt, Halbkoks, Gaskoks naß gelöscht, Gaskoks trocken gekühlt, Zechenkoks. Ähnlich fanden E. Terres und Mitarbeiter<sup>3)</sup>: Braunkohlenhalbkoks, Holzkohle, Steinkohlenhalbkoks, Steinkohlenkoks, Ruß, Graphit.

Nach Versuchen von B. Neumann, C. Kröger und E. Fingas<sup>4)</sup> ist auch der Aschegehalt der Kokse nicht ohne Einfluß und wirkt öfter katalytisch umsatzfördernd. Zusatz von Eisenoxyd steigerte den Wassergasumsatz auffallend. Diese Untersuchungen wurden erweitert und fortgesetzt von C. Kröger und Mitarbeitern<sup>5)</sup> durch vergleichende Zusätze von Alkalikarbonaten und Metalloxyden der 1., 2. und 8. Gruppe des periodischen Systems. Weiter gingen Kröger und H. Knothe<sup>6)</sup> den Ursachen der katalytischen Reaktionsbeschleunigung nach; sie untersuchten die Wasserdampfumsatzung einerseits an aschearmen Kohlenstoffsubstanzen, denen die Asche durch HCl-Extraktion größtenteils entzogen war, andererseits versetzten sie diese Brennstoffe mit ausgewählten Mengen Alkali sowie Zusätzen von Oxyden des Lithiums, Kobalts, Silbers u. a. m. Abb. 86 zeigt die Ergebnisse. Kurven 1, 2, 3, 4 kennzeichnen die Reaktionen mit Wasserdampf bei den aschearmen Brennstoffen, wobei diese auch die schon früher erwähnte Reaktionsfähigkeitsfolge zeigen: Graphit, Steinkohlenschwelkoks, Braunkohlenschwelkoks, Holzkohle. Mit Zusatz von 8% Alkali steigt die Reaktion der Kurve 1 (Graphit) auf die Höhe der Kurve 5, die des Braunkohlenschwelkokes von 3 auf 6. Der Reaktionsverlauf des nicht entaschten Braunkohlenschwelkokes in Kurve 7 liegt dem aschearmen, aktivierten sehr nahe, so daß der natür-

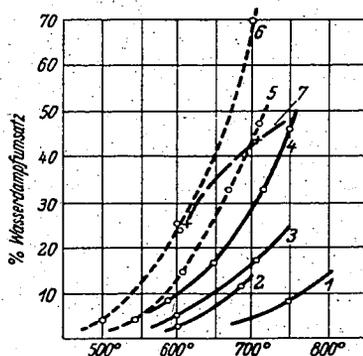


Abb. 86. Wassergasbildung an aschearmen und aktivierten C-Substanzen.  
 1 Graphit 0,4 % Asche  
 2 Steinkohlenschwelkoks 5,4 % Asche  
 3 Braunkohlenschwelkoks 2,4 % Asche  
 4 Holzkohle 1,1 % Asche  
 5 Graphit (Z) 8% KNaO  
 6 Braunkohlenschwelkoks (3) 8% K<sub>2</sub>O  
 7 aschehaltiger Braunkohlenschwelkoks

1) Handbuch der Gasindustrie II, 3.  
 2) K. Bunte u. A. Gießen, Gas- u. Wasserfach 71 (1930), S. 241.  
 3) Gas- u. Wasserfach 75 (1934), S. 705.  
 4) Gas- u. Wasserfach 72 (1931), S. 565.  
 5) Brennstoffchem. 19 (1938), S. 157, 257; Ztschrift. f. Elektrochem. 44 (1938), S. 524.  
 6) Brennstoffchem. 20 (1939), S. 373, 383.

lichen Asche infolge ihres Pottasche- und Kalkgehaltes eine stark aktivierende Wirkung zuzuerkennen ist. Weitere Versuche mit Metalloxydzusätzen ergaben bei Braunkohlenschwelkoks keine wesentliche Aufbesserung gegenüber alleinigem Alkalizusatz.

Betriebsmäßige Versuche mit reaktionsfähigeren Koksen, insbesondere mit feststückigem Steinkohlenschwelkoks in einer automatischen Großwassergasanlage berichtet G. Wilke<sup>1)</sup>. Die Blasezeit mußte verkürzt werden und der Windbedarf war etwas geringer, auch wegen des geringeren Schüttgewichtes der Brennstofffüllung, der Schwelkoksverbrauch mit 0,535 kg/m<sup>3</sup> geringer als bei Hochtemperaturkoks; die Vergasung brachte große Dampferzeugung bei relativ geringem Dampfverbrauch, also hohen Dampfüberschuß.

A. Jäppelt und A. Steinmann<sup>2)</sup> führten an einem außenbeheizten kontinuierlichen Röhrengenerator (vgl. S. 181) Vergleichsvergasungen von Hochtemperaturkoks und Spülgasschwelkoks von Stein- und Braunkohlen durch und stellten eine in der vorgenannten Reihenfolge steigende Vergasbarkeit (Gasausbeute und Vergasungswirkungsgrad) fest.

Auch R. E. Brewer und L. H. Reyerson<sup>3)</sup> beobachteten bei Vergasung von Schwelkoks und Koksen junger Steinkohlen mit überhitztem Wasserdampf bei relativ niedriger Temperaturlage und kurzer Berührungszeit hohe Gasausbeute und hohen Dampfüberschuß.

H. Leider weist darauf hin<sup>4)</sup>, daß für die Wassergaserzeugung sich vor allem auch Steinkohlenschwelbriketts aus aschereicheren Kohlen eignen, die ihrerseits für andere Verwendungszwecke nicht herangezogen werden können. Betriebsversuche im Gaswerk Mariendorf ergaben eine Wassergaserzeugung, die in allen Betriebszahlen der Erzeugung aus Hochtemperaturkoks sehr ähnlich war, in den meisten höher lag. Der Durchsatz des Generators (2,2 m Dmr.) betrug bei Schwelkoks 234 kg/m<sup>2</sup>/h, gegenüber 218 kg/m<sup>2</sup>/h bei Hochtemperaturkoks.

E. Terres<sup>5)</sup> erwähnt die bessere Reaktionsfähigkeit bereits bei Steinkohlenkoks, der bei niedrigerer Temperatur entgast worden war (Mitteltemperaturkoks); von Stein- und Braunkohlenhalbkoksen gibt er an, daß sie sich in ihrem Verhalten den entsprechenden Kohlen eng anschließen, aber z. T. störende Nebenreaktionen durch Kohlenwasserstoffreste zeigen.

Trotz dieser verschiedenen Vorteile dürfte für die allgemeintechische Wassergaserzeugung doch der Hochtemperaturkoks vorwiegend in Gebrauch bleiben, vor allem auch des Preises wegen. Dagegen sind die reaktionsfähigeren Kokse besonders geeignet für Sauggasanlagen oder

<sup>1)</sup> Techn. Mitt. Krupp 1937, S. 2; Brennstoffchem. 18 (1937), S. 366.

<sup>2)</sup> A. Jäppelt u. A. Steinmann, Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 346.

<sup>3)</sup> R. E. Brewer u. L. H. Reyerson, Ind. Engg. Chem. 26 (1934), S. 1002.

<sup>4)</sup> H. Leider, Feuerungstechn. 27 (1939), S. 335.

<sup>5)</sup> E. Terres, Gas- u. Wasserfach 77 (1934), S. 585.

für verschiedene Sonderprozesse oder für Betriebe, in denen sie nach der Erzeugung sofort weiterverarbeitet werden können (Syntheseanlagen).

Ein Sonderfall der Wassergaserzeugung ist die unmittelbare Vergasung einer Emulsion von Mineralöl und Wasser unter Verwendung einer Kontaktmasse<sup>1</sup>).

#### d) Gasbeschaffenheit.

Blaues Wassergas aus Koks (Höchsttemperaturkoks) hat im allgemeinen die Zusammensetzung von

4,3—	5,0%	CO <sub>2</sub>
0—	0,2%	O <sub>2</sub>
39,5—	40,0%	CO
45,0—	51,0%	H <sub>2</sub>
0,5—	1,0%	CH <sub>4</sub>
4,0—	9,0%	N <sub>2</sub>

Das Dichteverhältnis (Luft = 1) beträgt 0,5—0,55, das Raumgewicht 0,69—0,7 kg/Nm<sup>3</sup>, der obere Heizwert 2700—2800 kcal/m<sup>3</sup>, der untere 2450—2600 kcal/m<sup>3</sup>. Der Luftbedarf zur vollständigen Verbrennung ist mit der 2,2fachen Menge wesentlich geringer als bei Kohlgas. Das Wassergas verbrennt infolge einer hohen Zündgeschwindigkeit mit sehr straffer, kleiner Flamme, deren Flammentemperatur trotz des geringeren Heizwertes bei dem kleinen Flammenvolumen höher ist als die aus heizwertreicheren, aber mit 4—5fachem Luftbedarf und entsprechend größerem Flammenvolumen verbrennenden Kohlgasen. Die theoretische Flammentemperatur von kaltem Wassergas mit kalter Luft beträgt etwa 2000°, mit Vorwärmung sind 2200° erreichbar. Der Wassergaszusatz zum Leuchtgas ist für dessen technische Verwendung deshalb keineswegs als »Streckmittel« anzusehen, sondern verbessert seine Anwendungsbedingungen. Allerdings ist zuzugeben, daß für die meisten Anwendungsarten des Mischgases im Haushalt und im Kleingewerbe diese Flammentemperaturerhöhung praktisch nicht zur Auswirkung kommt, nur bei gewissen technischen Sonderverfahren, z. B. dem Schneiden mit Gas-Sauerstoff-Schneidbrenner u. a.

Wassergas-Luftgemische sind sehr brisant (Knallgas), daher sind entsprechende Sicherheitsvorrichtungen in den Wassergasanlagen sehr wichtig (s. später). Die Explosionsgrenzen sind mit 12,5—66,5% Gas im Gas-Luftgemisch sehr breit.

Infolge des hohen CO-Gehaltes ist das Wassergas giftiger als Kohlgas; dies ist um so mehr zu beachten, als selbst ungereinigtes Wassergas keinen auffallenden, also warnenden Geruch hat.

Bei Vergasung von Schmelzkoks aus Stein- und Braunkohlen steigt das Verhältnis H<sub>2</sub>:CO, das bei Höchsttemperaturkoks etwa 1,25 beträgt,

<sup>1</sup>) Gas- u. Wasserfach 82 (1939), S. 691 TR.

auf 1,45—1,65 (z. B. 53,5% H<sub>2</sub>, 36,0% CO), ohne daß der CO<sub>2</sub>-Gehalt wesentlich steigt<sup>1)</sup>.

Mit hoher Dampfgeschwindigkeit und hohem Dampfüberschuß kann für Sonderzwecke auch der CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>-Gehalt weiter gesteigert werden, zumal bei niederen Temperaturen<sup>2)</sup>.

## 2. Blauwassergas-Generatorenanlagen für Wechselbetrieb.

Zahlenmäßig am häufigsten arbeiten Wassergasgeneratoren in Blauwassergasanlagen, in denen die Periodenwechsel von Hand oder halbautomatisch gesteuert werden, im allgemeinen in dem obenerwähnten (S. 121) Zeitverhältnis 1:3 bis 1:4. Mit der Vergrößerung und Leistungssteigerung der Wassergasgeneratoren wurde deren Betrieb automatisiert, sowohl für die Wechselei wie auch für die Beschickung und Entschlackung. Da Großanlagen entsprechend der weitgehenden technischen Durchbildung der Automatik in neuerer Zeit vorwiegend in dieser Betriebsweise ausgeführt werden, dürfte jetzt mengenmäßig das Wassergas überwiegend in automatisierten Generatoren hergestellt werden.

### a) Größenordnung von Wassergas-Generatorenanlagen.

Klein-Wassergasgeneratoren werden schon für Leistungen von 5—10 m<sup>3</sup>/h gebaut. Von dieser Grenze aufwärts sind in Gaswerken im allgemeinen Wassergaserzeuger mit Stundenleistungen von mehreren 100 m<sup>3</sup> bis etwa 2000 m<sup>3</sup>/h üblich; darüber hinaus kommen in großen Werken auch Generatoren für 5000—7000 m<sup>3</sup>/h vor<sup>3)</sup>. Vollautomatische Anlagen werden, um die Einrichtung der umfangreichen Automatik wirtschaftlich zu rechtfertigen, durchweg nur für große Leistungen gebaut, deren obere Grenze heute bereits nahe an 10000 m<sup>3</sup>/h liegt.

### b) Klein-Wassergasanlagen.

Der Begriff »Kleinanlagen« ist zwar nach der Größe der Leistung nicht eindeutig festzulegen, wohl aber ist eine grundsätzliche Gruppeneinteilung wie folgt zu erkennen: einerseits kleine Wassergasanlagen, die darauf abgestellt sind, mit möglichst wenig Zubehör, Mechanismus und Bedienungsaufwand zu arbeiten, andererseits große Anlagen, die grundsätzlich alle Fortschritte der Mechanisierung zur Leistungssteigerung ausnützen.

Kleinanlagen kommen deshalb auch nur für kleinere Gaswerke oder für Kleingewerbebetriebe in Frage. Die Beschränkung des Mechanismus zwingt zu Vereinfachungen der sonst üblichen Betriebsweise und ge-

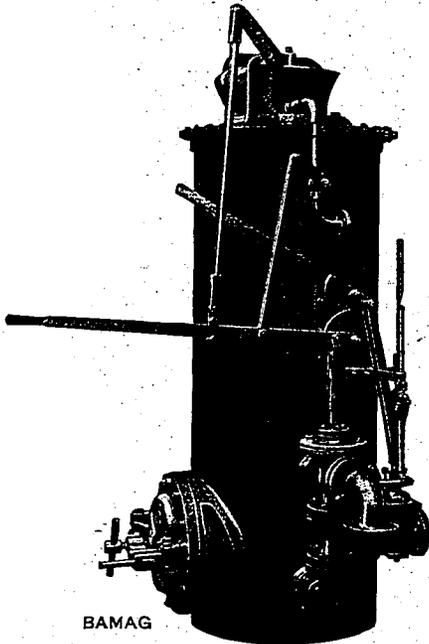
<sup>1)</sup> G. Wilke, Techn. Mitt. Krupp 1937, S. 2; Brennstoffchem. (1937), S. 366.

<sup>2)</sup> R. E. Brewer u. L. H. Reyerson, Ind. Engg. Chem. 26 (1934), S. 1002.

<sup>3)</sup> N. E. Rambush, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 92 TR.

stattet nicht immer ein Arbeiten auf günstigste Gasbeschaffenheit, Ausbeute und Wärmeausnutzung.

Als Größenordnung der Kleinanlagen (Abb. 87) kann etwa die Leistung von 10 bis 50, allenfalls bis 100 m<sup>3</sup>/h gelten. Der Kleingenerator hat vorwiegend ausgemauerten Schacht, ferner einen Festrost, oder er wird auch rostlos ausgeführt. Bei Festrost sind über dem Rost und



BAMAG

Abb. 87. Kleiner Wassergas-Festrostgenerator mit Mantel-Dampferzeuger.

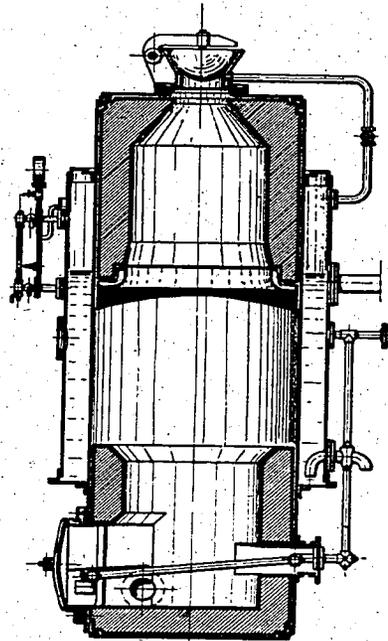


Abb. 88. Kleiner Wassergas-Festrostgenerator, ausgemauert.

unter diesem im Aschenraum je eine bis zwei Schlacktüren eingebaut, bei dem rostlosen Generator nur unten vor dem Schlackenbett. Von etwa 100 m<sup>3</sup>/h an werden auch Kleingeneratoren mit Manteldampferzeuger versehen (Abb. 88).

Betrieb und Steuerung sind möglichst einfach gestaltet. Das Heißblasen erfolgt grundsätzlich bei geöffnetem Deckel, das Blasegas wird durch einen Schlot über Dach abgeführt (Abb. 89). Das Gasen wird bei einfachen Anlagen nur in einer Richtung ausgeführt, meist dem Blasen entgegen, also abwärts, um die Wärme des Brennstoffbettes gut auszunützen. Das nur einseitige Gasen vereinfacht die Bedienung und den Steuermechanismus ganz besonders. Es ist nur notwendig, das Bewegen des Fülldeckels und des Gasabgangsventils gegenseitig zu verriegeln, was unter Benutzung

eines gemeinsamen Stellhebels oder Steuerrades möglich ist, unter gleichzeitig wechselnder Verriegelung von Windschieber und Dampfventil.

Klein- und Kleinstanlagen sind wegen ihrer einfachen Gestaltung nicht etwa als minderwertig zu betrachten, vielmehr geben sie bei rich-

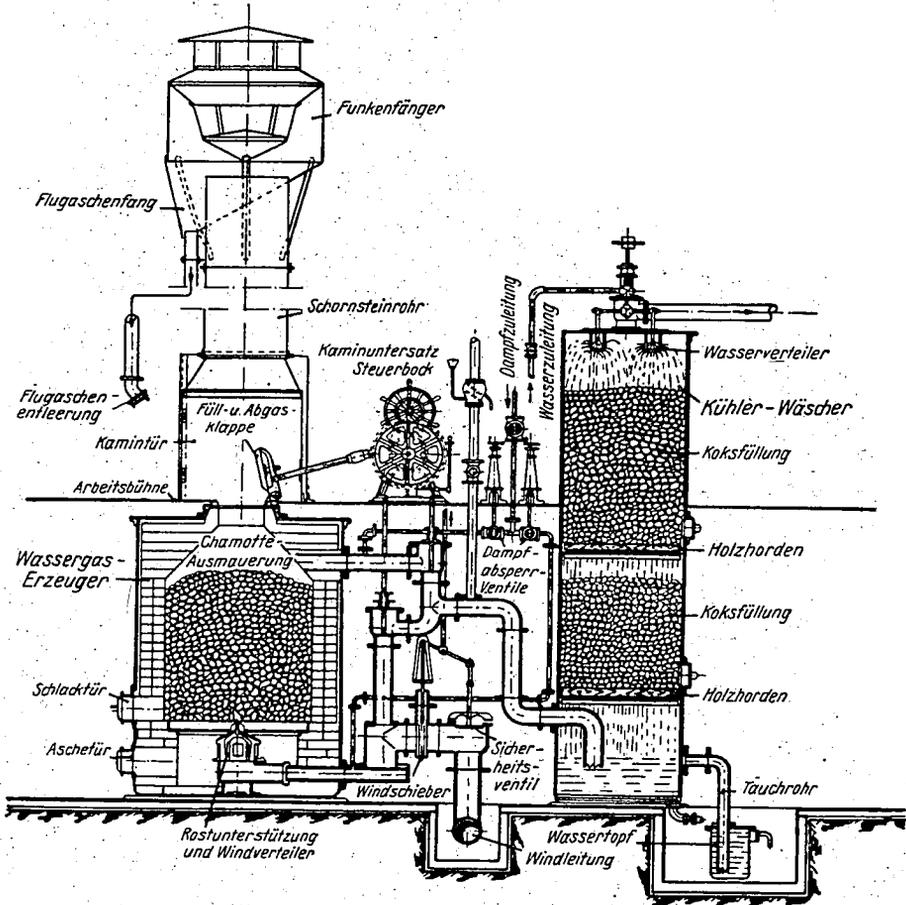


Abb. 89. Wassergasanlage mit Skrubber, Blasegasabgang über Dach.

tiger Bedienung und Abstimmung ebenfalls ein gutes Wassergas, nur können sie natürlich wärmewirtschaftlich nicht so günstig arbeiten wie Großanlagen.

Für Betriebe, in denen kein Dampf zum Gasen zur Verfügung steht, wird auch ein einfacher, ohne Sicherheitsvorschriften zu bedienender

Verdampfer gebaut (Francke-Werke). Dieser besteht aus einem auf dem Generatorschacht aufgesetzten Blechzylinder, der mit Schamöttegitterwerk ausgesetzt ist (Abb. 90). Der Koks wird seitwärts unter dem Gitterwerk eingefüllt, der sonst übliche Generatordeckel und Blasegaskamin sind auf den Verdampfer aufgesetzt. Beim Blasen heizt sich das Gitterwerk auf. Zum Gasen wird der Deckel oben geschlossen und Wasser aus Düsen auf das heiße Gitterwerk zerstäubt und verdampft, der Dampf wird durch eigenen Druck durch die Koksäule gedrückt.

Der Wassermantel von kleineren Generatoren wurde natürlich aus Gründen der Einfachheit als Niederdruckdampfmantel gebaut, bei größeren Einheiten wird aber wegen des an sich hohen Dampfbedarfs des Wassergasprozesses wenigstens ein Doppelmantelkessel für Mitteldruck von meist 2—3 atü verwandt. Bei kleinen Koller-Generatoren wird auch der Wassermantel innen mit einer dünnen Spezialausmauerung versehen, um zu starker Wärmeabgabe aus dem Brennstoffbett — zum Nachteil der Reaktion — vorzubeugen. Da bei kleinem Schachtdurchmesser der Umfang gegenüber dem Querschnitt verhältnismäßig groß ist, kann diese Wärmeabgabe dann von großem Einfluß sein. — Höherer Druck erfordert bei Doppelmantelkesseln verhältnismäßig große Blechstärken, doch wurden solche Kessel auch für höheren Druck, bis 6 und 10 atü, vereinzelt ausgeführt.

### c) Große Wassergasanlagen.

#### α) Der Generator-Schacht.

Wenn auch Dampfmantel-Wassergaserzeuger weit überwiegend in Gebrauch sind, werdendoch ausgemauerte Generatorschächte auch noch verwandt. Der bei den hohen Arbeitstemperaturen erhöhten Gefahr der Wandverschlackung wird durch besondere Materialauswahl für die Ausmauerung vorgebeugt, ferner durch rechtzeitige Kontrolle des Verschlackungsgrades und Schlackenentfernung und durch Vergasung von Koks mit möglichst hohem Ascheschmelzpunkt.

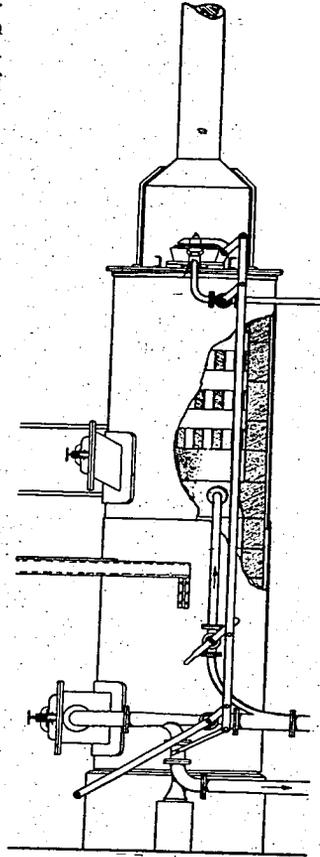


Abb. 90. Klein-Wassergasanlage mit Verdampfer.

Bei den Mitteldruck-Doppelmantelkesseln der Wassergasanlagen wurden natürlich die bei den Zentralgenerator-Mantelkesseln gesammelten Erfahrungen (vgl. S. 32) nutzbar gemacht und es finden sich viele, jenen grundsätzlich ähnliche Ausführungen (Abb. 91). Der Dampfsammelraum ist entweder um das Mauerwerk des Generatorborteils etwas hochgezogen oder es ist ein gesonderter Dampfsammleroberkessel seitlich unter oder über Bedienungsflur hochgezogen. Bei der entsprechend der Generatortemperatur sehr lebhaften Dampfenwicklung ist ein gesonderter Dampfsammler dem Ringraum vorzuziehen. Der Dampfsammler soll zur ausreichenden Beruhigung des mitgerissenen Wassers einen genügend großen Dampfraum haben oder mit einem nachgeschalteten Dampfwässerer versehen sein<sup>1)</sup>. Das stoßweise Arbeiten des Wassergasgeneratorborteils darf nicht unterschätzt werden; bei unzureichender Bemessung des Dampfraumes oder Entwässers kommt es leicht vor, daß bei dem der Blasegasdampfentwicklung unmittelbar folgenden Gasen der Dampf so große Wassermengen mitreißt, daß das Mauerwerk im Generatorborteil beschädigt und außerdem die Temperatur des Brennstoffbettes durch Wasserverdampfung plötzlich herabgesetzt wird.

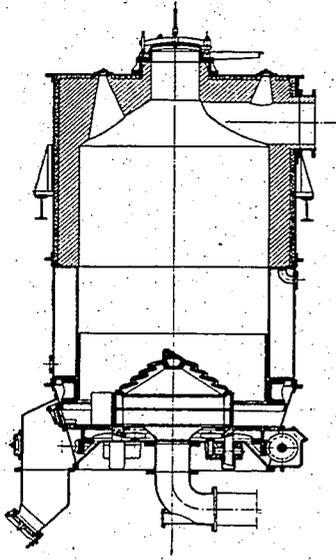


Abb. 91. Wassergas-Drehrost-generator mit Mantelkessel.

Wassergasdampfesselgeneratoren sind vorwiegend mit 2,1 und 2,6 m Schachtdurchmesser in Gebrauch, bei Großanlagen werden neuerdings auch 3,0 und bis 3,6 m Dmr. angewandt.

Über die Wirtschaftlichkeit der Dampferzeugung in der Wassergasanlage an sich — im Mantelkessel und zusätzlich aus dem Blasegas sowie u. U. noch aus der Wärme des Wassergases, waren die Meinungen im Fach sehr geteilt. Während z. B. J. Gwosdz u. a. unter Hinweis auf den verhältnismäßig teuren Brennstoff für diese Dampferzeugung und die hohen Sonderanlagekosten und die bei dem wechselnden Betrieb nicht so hohe Dampfleistung der Wassergasabhitzeessel die Ausnützung der Wärme des Wassergasprozesses für Dampfgewinnung als nur unwesentliche Verbesserung hinstellen, betont Marischka<sup>2)</sup>, daß die Dampfgewinnung mindestens dann einen unzweifelhaften Vorteil bedeute, wenn die Ausnützung der Blasegase mit in einem geeigneten Generator-dampfkesselmantel erfolgt. Dieser Voraussetzung entsprach der in Wien

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 73 (1932), S. 457.

<sup>2)</sup> Marischka, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 884.

aus dem früher erwähnten Hochdruckdampfessel-Zentralgenerator entwickelte Wassergas-Hochdruckgenerator. Dieser Doppelmantelkessel, der ähnlich dem in Abb. 25 (S. 43) gezeigten Generatormantelkessel gebaut ist, trägt an seinem Außenmantel zwei Reihen bogenförmige, eingewalzte Siederohrreihen. Die Blasegase werden zunächst unter Zweitwindzusatz in einer nebengeordneten Zündkammer verbrannt und dann durch den um den Generatorkessel und die Siederohre angeordneten äußeren Überhitzermantel geführt, wobei sie ihre Wärme an die Außenflächen des Kessels noch weitgehend abgeben und entgegengesetzt zum Kamin abziehen. Wegen des großen Wärmeinhaltes der Blasegase ist die Siederohrheizfläche bei diesem Wassergaskessel größer bemessen als bei dem erwähnten Generatorkessel. Es wurde eine sehr hohe Dampfleistung des Mantelkessels erreicht (ca. 2 kg Dampf je kg Koks), dabei ist zu berücksichtigen, daß dieser Erfolg auf verhältnismäßig geringer Grundfläche und mit — gegenüber gesondertem Abhitzeessel — geringeren Anlagekosten erreicht wurde. Diese Bauform wurde jedoch später wieder verlassen, da sie sich für 12 atü nicht genügend bewährte. Sie wurde abgelöst durch eine neuere (1919) Wiener Ausführung des Hochdruck-Wassergasgeneratorkessels, über den W. Horak berichtet<sup>1)</sup>. Diese lehnt sich eng an die Bauart des inzwischen von Koppers weiter entwickelten Wasserröhrenmantelgenerators (vgl. S. 40). Er besteht wie dieser aus je einer oberen und unteren Ringkammer viereckigen Querschnitts mit den eingewalzten, den Generatorschacht bildenden Siederohren, deren Zwischenräume mit Kupferblechstreifen verstemmt werden (Abb. 92). Auch der Gasabgang zwischen den Siederohren oben ist der gleiche. Die Abwärmeausnutzung im Generator ist nach dem von Marischka erwähnten Grundsatz noch weiter ausgebildet. Die Blasegase werden in einer nebengebauten Zündkammer nachverbrannt, umstreichen dann in dem Generatöraußenmantel fast die ganze Außenfläche der Mantelsiederohre und geben weitere Wärme in einem unmittelbar an den Generator angebauten gußeisernen Vorwärmer ab. Die Dampfgewinnung erreicht auf diese Weise ebenfalls den günstigsten Wert von 2 und mehr kg Dampf je kg Rohkoksdurchsatz.

Eine sehr zu beachtende Störungserscheinung zeigen noch in neuerer Zeit einige Mantelkesselbauarten, bei denen der Kesselboden des Mantelkessels im Schlackenraum liegt (Abb. 93). In dem zwischen Schlackenböschung und Kesselboden gebildeten Ringraum sammeln sich Wasserdämpfe, die aus der Schlacke und dem Wassergas mit  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  u. a. m. beladen sind. Obwohl bei einem Kessel von 2—5 atü anzunehmen wäre, daß dieser in allen Teilen über 100° heiß ist, beweisen verschiedene Betriebsbeobachtungen, daß tatsächlich — wohl infolge Stagnierung des Kesselwassers am Boden und starker Abkühlung während des Blasens —

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 74 (1931), S. 935; Z. Österr. Ver. Gas- u. Wasserfachm. 71 (1931), S. 122.

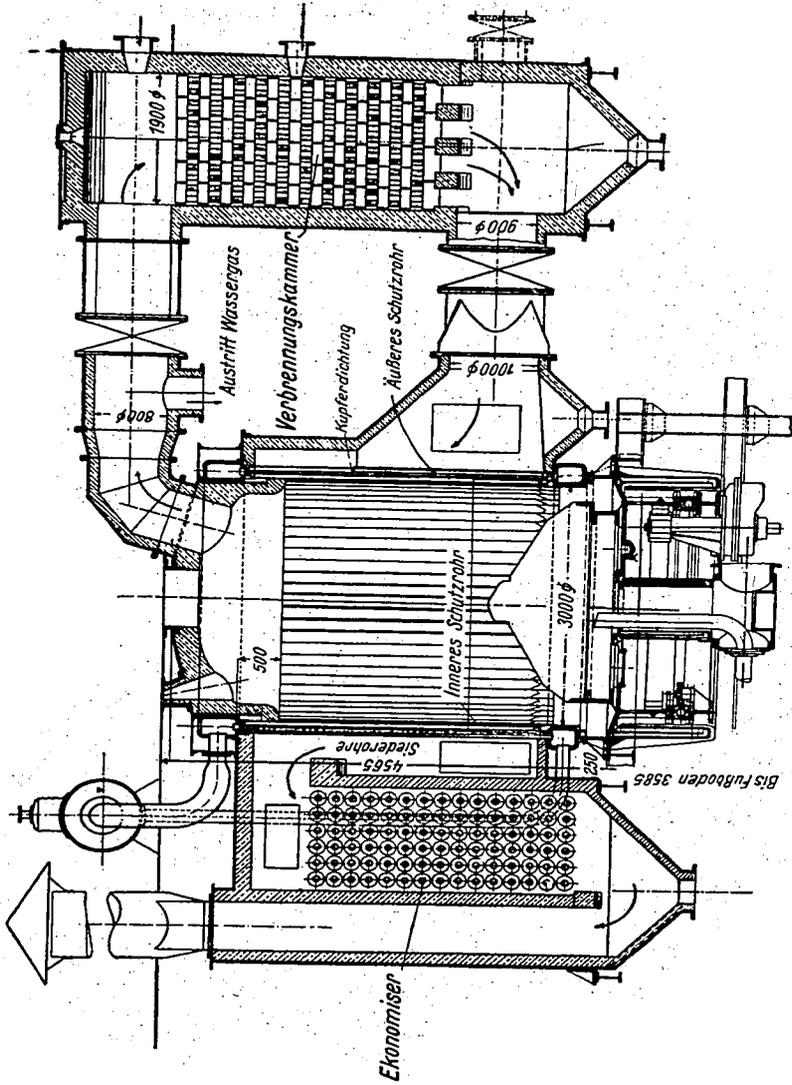


Abb. 92. Hochdruck-Röhrenkessel-Wassergenerators.

an dem Kesselboden diese korrodierenden Dämpfe sich niederschlagen und den Kesselboden von außen auffallend schnell anfressen. Bei dieser Bauart muß also, um Störungen vorzubeugen, wenigstens eine besonders dicke Wandstärke des Kesselbodens vorgesehen werden. Richtiger ist es aber, den Kesselboden außerhalb des Schlackenbettes und der Gasströmung zu verlegen, wie z. B. an den Bauarten der Abb. 91 und 94 zu ersehen ist. Auch die in Abb. 19 (S. 37) an einem Demag-Generator gezeigte Anordnung eines Leitblechs im

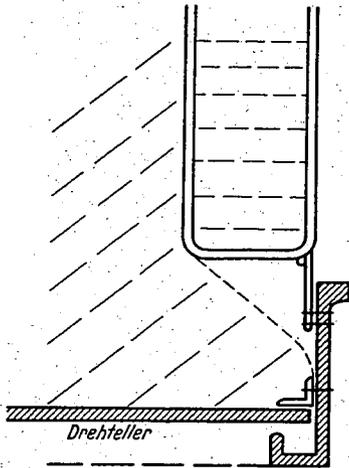


Abb. 93. Wassergasmantelkessel, Kesselboden im Schlackenraum (gefährdete Bauart).

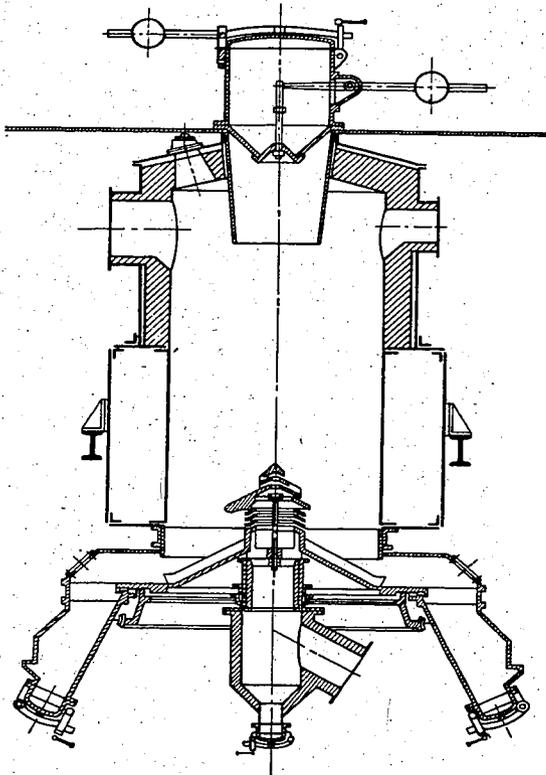


Abb. 94. Wassergasgenerator mit trockener Austragung.

Mantelkesselraum dient dieser notwendigen Wasserumwälzung zur Vermeidung von Wasserstagnierung. Bei den mit Hochdruck betriebenen Wasserröhrenkesseln ist entsprechend ihrer höheren Temperatur und der zwangsläufig mehr durchgreifenden Wasserbewegung im unteren Ringraum mit solchem Temperaturabfall und daraus folgenden Anfressungen nicht zu rechnen.

Die Innenseite des Mantelkessels ist im unteren Teil stark der Schlackenreibung ausgesetzt. Darauf wird in verschiedener Form Rücksicht genommen. Entweder wird der Kessel nicht bis in die Zone der

stärksten Reibung heruntergezogen, sondern durch ein an der Innenkante unten angeschweißtes Stehblech die Innenwand nach unten fortgesetzt (Abb. 94) oder an ein solches Blech wird ein nach oben den Kesselmantel noch ein Stück überdeckendes Schleißblech angebaut (Abb. 91). Letzteres bringt allerdings die Gefahr von Verwerfung und Aufhängen der Brennstoffsäule, wenn einmal das Feuer zu tief kommt. Eine weitere Vorbeugungsmaßnahme ist es, die Kesselblechstärke in dieser Zone von vornherein mit einem ausreichenden Verschleißaufmaß zu wählen.

Die Füllvorrichtung im Deckel des Wassergasgenerators ist gegenüber den bei den Zentralgeneratoren üblichen Einrichtungen sehr einfach. Meist ist nur ein aufgedichteter, nach unten gegen die Hitzeinstrahlung isolierter Deckel vorhanden. Da grundsätzlich ein gleichmäßig grobgekörneter Brennstoff verarbeitet wird, ist eine Entmischung beim Füllen nicht zu befürchten, also ein Brennstoffverteiler überflüssig. Der Koller-Wassergasgenerator (Abb. 94) ist dagegen mit einem eingehängten Füllstützen aus feuerbeständigem Spezialstahl versehen, durch den, wenn der Generator stets voll gehalten wird, das tiefe Fallen des Brennstoffs vermieden und dieser zugleich auf dem Wege in den Schacht vorgewärmt wird. Da durch diese Brennstoffsäule der Deckel zugleich gegen Strahlung aus dem Schacht geschützt ist, ist bei dieser Bauart auch der Gebrauch eines Füllkonus möglich, an dessen ausgewuchtetem Handhebel die Leerung der Füllvase erkennbar ist.

Die Stochlochverschlüsse sind entsprechend dem Gasdruck im Generator mit schweren Stopfen versehen und haben keinen Dampf- oder Windschleierschutz, weil sie ja während des Betriebes nicht geöffnet werden, sondern nur in den Schlackepausen oder bei Stillstand des Generators.

### *β) Rost und Ascheaustragung.*

Festrost, zumeist als Planrost, bisweilen auch schwach schräg oder dachförmig ausgeführt, sind in Wassergasgeneratoren noch bis etwa 1000 m<sup>3</sup>/h üblich. Der mechanisierte Drehrost ist aber nicht an diese Grenze gebunden, sondern wird schon für Leistungen von 600—700 m<sup>3</sup>/h gebaut.

Die Austragung der Schlacke aus dem Wassergaserzeuger kann naß oder trocken erfolgen. Die nasse Austragung lehnt sich in ihrer Durchbildung völlig an die bei den Schwachgas-(Halbwassergas-)generatoren gebrauchten Formen an, mit dem einzigen Unterschied, daß die Wassertauchung entsprechend dem höheren Druck im Generator wesentlich höher und außerdem wegen der stoßweisen Beanspruchung mit größerer Sicherheit bemessen sein muß. So sind Ausführungen mit 1000—1100 mm Tauschschüsselhöhe bekannt, die also bei einem lichten Abstand von etwa 250 mm zwischen Tauchring und Schüsselboden höchstens 750—780 mm

Tauchhöhe verfügbar haben. Es ist somit trotz dieser erhöhten Tauchung eine gewisse Vorsicht beim Blasen und Gasen notwendig. — Weitere Nachteile des nassen Abschlusses sind, daß meist mehr Brennbares in die Asche gerät, weil die absinkenden Koksstücke durch Ablöschen schneller aus dem Bereich der Reaktionstemperatur kommen, und vor allem wird bei Stillstand der Anlage durch die von der Brennstofffüllung ausstrahlende Wärme ständig Wasser aus der Schlacke bzw. der Schüssel nachverdampft und durch den Dampf sowohl nutzlos und unter Kohlenstoffverlust Gas gebildet, als auch das Brennstoffbett abgekühlt.

Mit Ausnahme der automatischen Generatoren, bei denen zum Teil andere Voraussetzungen und Betriebsbedingungen maßgebend sind und der nasse Verschuß im Interesse gleichmäßiger, mechanisierter Austragung angewandt wird (vgl. S. 154) (Abb. 95), ist bei den Wassergasanlagen aus den oben genannten Gründen fast nur noch die trockene Austragung in Gebrauch.

Bei der trockenen Austragung steht der Rostkegel nicht auf dem Schüsselboden, sondern auf einer Drehplatte, die sich in dem geschlossenen gußeisernen Generatorunterteil bewegt. Sie läuft meist auf Rollen, einerseits radial untergebauten waagerechten Laufrollen, andererseits senkrecht oder schräg stehenden Druck- oder Führungsrollen oder es wird ein Gleitring verwendet (Pintsch), der durch seine gleichmäßige Gewichtsverteilung eine spezifisch geringe Beanspruchung ergibt<sup>1)</sup>. Die Bewegung der Drehplatte wird von einem Motor über ein Gestänge mit Sperrklinkenrad und einen von diesem betätigten Schneckenantrieb bewirkt. Zur Entfernung der Asche sind an das Gehäuseunterteil gußeiserne Schlackentaschen mit Exzenterverschlußdeckeln seitlich angebaut, meist zwei gegenüber (Abb. 94, 96). Oberhalb dieser Taschen sind Abstreifer am Gehäuse über dem Drehteller eingebaut, durch welche die von den Räumern herangeführten Schlackenbrocken in die Taschen abgeworfen werden. Der Drehteller läuft im Gegensatz zum Schwachgaserzeuger nicht ständig, sondern nur intermittierend in Zeiträumen von

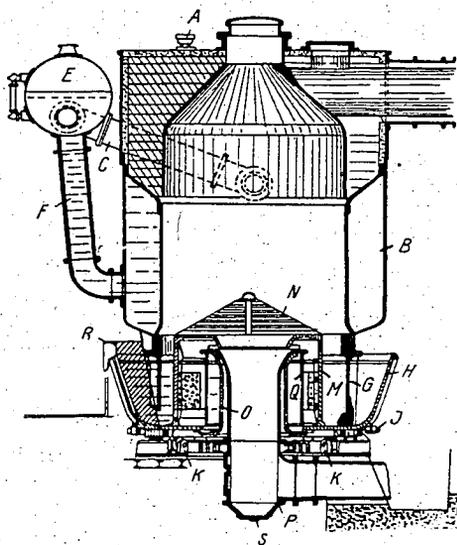


Abb. 95. Wassergasgenerator mit nasser Austragung.

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 453.

je 5—15 min, in der Achtstundenschicht insgesamt etwa  $\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{4}$  h. Entsprechend der kürzeren Laufdauer bewegt sich der Drehteller und Rost gegenüber den Generatorrostschüsseln schneller, weil er gegen die meist härter zusammengeschmolzenen Wassergasschlacke schärfer arbeiten muß. Bei zu schwacher Bewegung besteht die Gefahr, daß der Rost sich unter einer hochgehobenen Bewegung der Schlacken gewölbe wirkungslos dreht. Die Schlackentaschen werden nach Bedarf in Betriebspausen entleert.

Die Rostformen der Wassergaserzeuger sind nicht so vielfältig wie bei den Zentralgeneratoren. Am häufigsten trifft man den kegelförmigen Schuppenrost (Kerpely-Rost), aus Segmenten zusammengesetzt (Abb. 96),

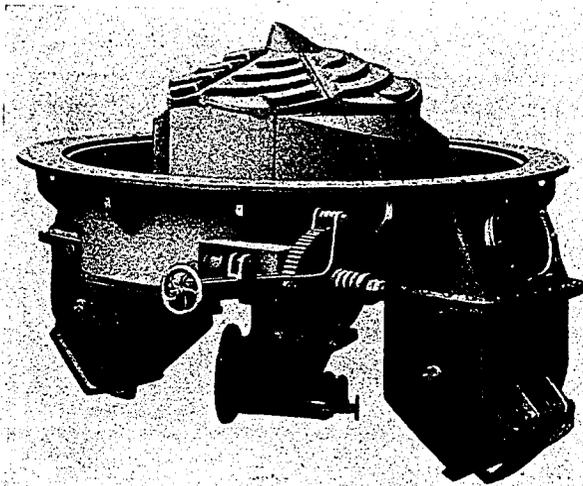


Abb. 96. Wassergasgenerator-Unterbau.

mit kräftigen, starkwandigen Schuppen und einer Stahlgußrostspitze oder Rosthaube, die exzentrisch geformt ist. — Statt der Segmentausführung verwendet der Koller-Kegelrost, wie auch der Rost nach Humphreys und Glasgow (Abb. 95), gußeiserne Ringplatten mit abnehmendem Durchmesser aufeinandergebaut und mittels der Stahlgußkappe zusammengehalten.

Der Rost selbst und seine Aufstellung ist meist wenig oder gar nicht exzentrisch, die Schlackenbewegung und Zertrümmerung wird bei dieser Kegelrostform durch am Rostunterteil angesetzte, sehr kräftig gebaute 2—4 Rümer erledigt.

Eine andere oft gebrauchte Rostbauart ist der ebenfalls von den Generatoren bekannte Fräserrost (Koller, Demag) (Abb. 94), der einen

kleinen, pilzförmigen Kegel und auf dem ganz flachkegeligen Rostunterteil starke, entgegen der Drehrichtung rückwärtsgebogene Rippen trägt, die den Schlacken Kuchen auf der ganzen Unterseite abarbeiten und nach außen zu den Schlackentaschen bewegen.

Die Spitze des Kegelrostes ist durch die hohe Temperatur des Brennstoffbettes natürlich stärker gefährdet als bei dem Schwachgas-erzeuger. Als Schutz gegen das Verbrennen des Rostes verwandte Marischka<sup>1)</sup> eine hohlgegossene Rostkappe mit Wasserdurchlaufkühlung. Das sichtbar abfließende Rostkühlwasser ergab bei gleichbleibendem Zufluß durch seine Temperatur einen guten Anhaltspunkt für normale oder zu starke Annäherung der Glut an den Rost. Bei sorgfältiger Überwachung der Drehrostlaufzeiten ist aber die Einhaltung der Schlackenhöhe auch ohne dieses Hilfsmittel gut möglich und bei guter Abstimmung der Blasezeit und der Zeit und Menge des Dampfzusatzes kann erfahrungsgemäß wochen- und monatelang durchgearbeitet werden, ohne daß ein Nachschlacken des Generators mit Schlackstangen notwendig wird. In modernen Großwassergasanlagen hat sich sogar gezeigt, daß trotz der Leistungssteigerung der Rost nicht stärker gefährdet ist.

Eine abweichende Bauart hat der Pintsch-Rost für automatische Hochleistungs-Wassergasanlagen (vgl. S. 168, Abb. 122), ein Flachrost mit darüber drehendem, wassergekühltem, zweiarmigem Räumern.

In amerikanischen Bauarten von Wassergasgeneratoren zur unmittlaren Vergasung bituminöser Steinkohlen (vgl. S. 124) wurde der Rost mit einem Pfeilerartigen Aufbau versehen; er sollte die bei großen Generator-Querschnitten erschwerte gleichmäßige Beaufschlagung des ganzen Brennstoffbettes sichern und eine gegenüber den leichter durchgänglichen Randzonen ungenügend ausgegaste Brennstoff-Kernzone vermeiden. Der Pfeiler wurde in einer Stärke von etwa einem Drittel des inneren Generatordurchmessers gebaut<sup>2)</sup>, bei weniger als 2,7 m Schächtdurchmesser war der Pfeiler nicht mehr genügend standfest. Um den zu hohen Blasegasverlust zu mindern, wurde ein Teil des letzten, bereits an Kohlenoxyd reichen Blasegases als »Windgas« oder »Nutzblasegas« zum Wassergas genommen. — Diese Wassergaserzeugung aus Steinkohle nähert sich; wie erwähnt, dem Begriff der Doppelerzeugung<sup>3)</sup>.

### *γ) Betriebsweise und Steuerung.*

Die Ausbildung der Steuerung richtet sich vor allem nach der Größe der Anlage. Bei Kleinanlagen wird sie, wie schon erwähnt wurde, möglichst einfach gehalten und dieser Vereinfachung sogar die Betriebsweise angepaßt. Das Gasen in nur einer Richtung erfordert nur einen Gäschieber und ein Dampfventil, für das Heißblasen wird nur das Öffnen

<sup>1)</sup> Marischka, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 851.

<sup>2)</sup> J. Gwosdz, Gas- u. Wasserfach 71 (1928) S. 1233.

<sup>3)</sup> Handbuch der Gasindustrie II, 3.

des Windschiebers und des Generatordeckels gebraucht (vgl. Abb. 86, 88). Diese Bewegungen lassen sich gegenseitig verriegelt auf einen bis zwei Stellhebel vereinigen.

Bei mittelgroßen Anlagen, schon von 200 bis 300 m<sup>3</sup>/h an, ist bereits das wechselnde Gasen üblich. Beim ständigen Gasen von unten wird der Wärmeinhalt des Brennstoffbettes zu sehr nach oben verschoben und der Blasegasverlust steigt dadurch. Deshalb ist es zweckmäßig, etwa jede 3. Gasung abwärts zu richten. Das Zeitverhältnis Blasen zu Gasen ist, wie oben ausgeführt wurde (S. 121) etwa 1:3 bis 1:4, neuerdings auch bis 1:2. Die Abwärtsgasung gibt, da hierbei der Dampf nicht erst durch die bereits etwas abgekühlte Schlacke gehen muß, sondern unmittelbar auf den glühenden Koks trifft, eine etwas bessere Ausbeute und kann meist länger ausgedehnt werden als die Aufwärtsgasung.

Für diesen Wechselbetrieb sind außer dem Windschieber zwei Gasventile, oben und unten, und zugehörig zwei Dampfschieber, unten und oben, notwendig, ferner ein Abgasschieber, sobald das Blasegas nicht mehr durch den Füllstutzen über Dach abgeführt wird.

Nach dem Abwärtsgasen ist der Raum unter dem Rost mit Wassergas gefüllt. Stelle man unmittelbar Wind zum Heißblasen an, so bildete sich ein Knallgasgemisch, das vom nachdrängenden Wind in die Feuerzone gedrückt wird und dort zündet. Bei großräumigen Generatoren kann solche Explosion zu schweren Schäden führen. Deshalb wird der Gasrest des Abwärtsgasens vor erneutem

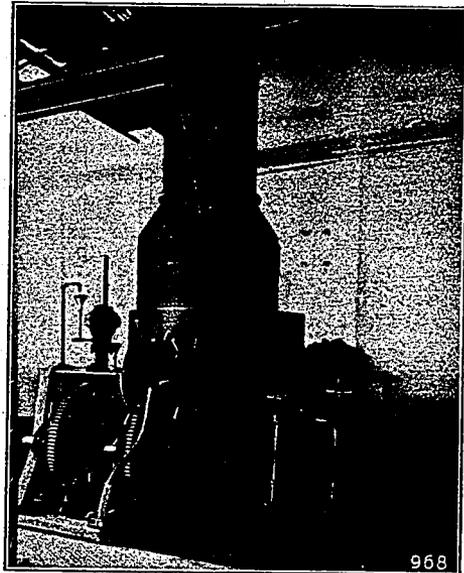


Abb. 97. Steuerbock einer Wassergasanlage.

Blasen durch kurzes Nachgasen von unten verdrängt. Dieser Arbeitsgang wird als »Spülen« bezeichnet.

Die mit zunehmender Anlagengröße größer und schwerer werden den Armaturen werden nicht mehr unmittelbar von Hand gesteuert, sondern mit geeigneten Übersetzungen, Zahnstangen mit Handrädern. Abb. 97 zeigt einen solchen Steuerbock einer Anlage mit Abgasführung über Dach (vgl. auch Abb. 89). Bei dieser Anordnung sind Windschieber und Fülldeckel einerseits zusammengefaßt, andererseits die Gas-

schieber getrennt gesteuert. Wind- bzw. Dampfschieber werden noch nach der Schieberbetätigung gesondert von Hand bedient.

Die zunehmende Erschwerung der Bedienung dieser Schaltungen wurde weiter vereinfacht durch Zwischenschaltung eines Druckmittels. Auf jedem Schieber wurde ein Druckzylinder aufgebaut (Abb. 98), durch dessen Bewegung der Schieber über eine Hubstange betätigt wird.



Abb. 98. Heißgasschieber mit Hubzylinder.

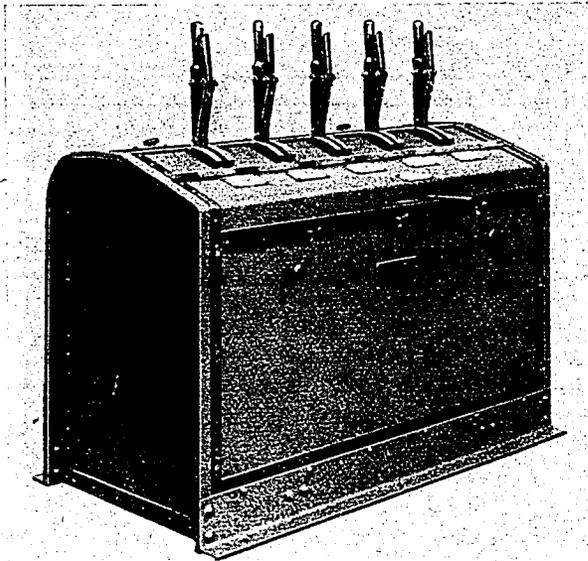


Abb. 99. Steuerbock einer hydraulischen Wassergassteuerung.

Die Öffnung geschieht stets mit Druck, das Schließen kann mit Gegen- druck oder nur durch Entlastung erfolgen. Alle Bewegungen konnten damit zusammengefaßt werden an einem »Steuerbock« (Abb. 99), von dem aus jeweils die erforderlichen Schieber und Ventile unter Druck oder zum Abstellen unter Gegendruck des Druckmittels gesetzt werden. Als Druckmittel kann Dampf dienen oder Öl oder einfacher noch Wasser mit Zusatz eines wasserlöslichen Schmiermittels. Dampf erfordert Kondensatabführungen und Isolierung von Leitungen und Druckkolben, Öl und Wasser brauchen eine Druckpumpenanlage nebst Druckkessel mit Luftpolster als Druckvorrat. Dampfdruckanlagen arbeiten mit 4 bis 5 atü, Öl- und Wasserdruckanlagen mit höheren Drücken, 10—25 atü und bei Großanlagen mit schwereren Armaturen selbst bis 40 atü.

Da die Bewegung der Schieber und Ventile bei dieser Anordnung nach Umlegen des Schalthebels selbsttätig erfolgt, wird diese Bauart der Steuerung auch als »halbautomatische Steuerung« bezeichnet.

Die Steuerung der Hebel am Steuerbock ist durch diese Anordnung sehr vereinfacht und gestattet, wie auch bei der Handradsteuerung üblich, aber noch weitgehender, eine Sicherung und gegenseitige Verriegelung aller nicht zusammengehörenden Arbeitsvorgänge. So kann, wenn der Abgasschieber geöffnet ist, nur der Windschieber, aber kein Gas- oder Dampfschieber bewegt werden, erst wenn Abgas- und Windschieber geschlossen sind, ist die Blockierung des Gas- und Dampfschiebers gelöst. Besonders wichtig ist, daß die halbautomatische Steuerung bei parallelem Arbeiten mehrerer Generatoren auch das Zusammenfallen gleichartiger Arbeitsgänge zweier Generatoren, also z. B. gleichzeitiges Blasen, verriegeln kann<sup>1)</sup>. Die die Blockierungen zusammenfassende Schaltwalze kann so eingerichtet sein, daß sie eine bestimmte Gasungsfolge (z. B. 2 Gasungen aufwärts, 1 abwärts) zwangsläufig einhält und bei anders gewünschter Folge besonders umgeschaltet werden muß, oder es ist nur die Verriegelung der genannten Hauptdrucke gegeneinander vorgesehen.

Auf die Steuerung der automatisch arbeitenden Wassergasanlagen ist gesondert zurückzukommen (S. 156, 160).

Der Arbeitsgang der üblichen handgesteuerten Wassergaserzeugung ist zusammenfassend folgender:

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. Blasen . . . . .         | $\frac{3}{4}$ bis $1\frac{3}{4}$ min |
| 2. Aufwärtsgasen . . . . .  | $1\frac{1}{2}$ » $2\frac{1}{2}$ »    |
| 3. Blasen . . . . .         | $\frac{3}{4}$ » $1\frac{3}{4}$ »     |
| 4. Aufwärtsgasen . . . . .  | $1\frac{1}{2}$ » $2\frac{1}{2}$ »    |
| 5. Blasen . . . . .         | $\frac{3}{4}$ » $1\frac{3}{4}$ »     |
| 6. Abwärtsgasen . . . . .   | 2 » $3\frac{1}{2}$ »                 |
| 7. Aufwärtsspülen . . . . . | $\frac{1}{4}$ min                    |
- und wieder mit 1. beginnend.

#### δ) Abhitzegegewinnung, Kühlung und Reinigung.

Auf die Strittigkeit der Frage, ob eine Ausnützung der Blasegase und gegebenenfalls auch des Wassergases in besonderen Abhitzekesseln wirtschaftlich sei, wurde bereits hingewiesen (S. 132). Für Abhitzegegewinnung in und an Hochdruckröhren-Generatorkesseln großer Leistung ist diese Wirtschaftlichkeit außer Zweifel<sup>2)</sup>. Für Mitteldruck-Dampfkesselgeneratoren und für mittelgroße Anlagen überhaupt kann diese Frage nur von Fall zu Fall beurteilt werden. Zweifellos kann ein Blasegasabhitzekessel, der in seiner Größe der jeweiligen augenblicklichen Blasegasmenge angepaßt sein muß, zeitlich aber nur kurz stoßweise beansprucht wird, nicht die wirtschaftliche Dampfleistung erreichen, wie ein ständig gleichmäßig beheizter Kessel. Dieser Nachteil steigert sich,

<sup>1)</sup> H. Entner, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 453.

<sup>2)</sup> Marischka, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 884.

wenn die Anlage nicht immer in Betrieb ist und nur in einer oder zwei Schichten täglich gegast wird; der Abhitzeessel kommt dann insgesamt so von Temperatur, daß nach Wiederbeginn des Gasens stets längere Zeit vergeht, bis er wieder Dampf abgeben kann; es muß deshalb solange mit fremder Dampfquelle gearbeitet werden. Trotzdem kann der Wassergasabhitzeessel in solchem Falle wertvoll sein, wenn das Betriebsdampfnetz zwar eine vorübergehende, aber keine stundenlange Überbelastung verträgt. In diesem Sinne haben sich selbst bei Kleinwassergaserzeugern mit Blasegasabgang über Dach Abhitzeesseln örtlich bewährt, die in oder um den Dachschlot eingebaut wurden. — Günstiger ist die Betriebslage für Wassergasabhitzeessel, wenn mehrere Generatoren zusammenarbeiten. Wenn bei Belastungsschwankungen vorübergehend auch nur ein Generator gast, ist dann doch Dampf für das Wiederanfahren eines weiteren Generators stets vorhanden. Sehr zweckmäßig hat z. B. Gaswerk Düsseldorf zu drei Wassergaserzeugern zwei Abhitzeessel angeordnet<sup>1)</sup>, wobei der mittlere Generator wahlweise auf jeden der beiden Kessel geschaltet werden kann.

Ist dagegen die Wassergasanlage im wesentlichen nur für einen Spitzenausgleich vorgesehen und steht die überwiegende Zeit still, so ist die Anlage eines Abhitzeessels sicher nicht angebracht.

Die ebenfalls vorgeschlagene Form, zwecks gleichmäßigerer Kesselbelastung das Wassergas durch den gleichen Abhitzeessel zu führen, wie das Blasegas, ist nur in Sonderfällen ratsam, einerseits wegen der komplizierteren Leitungsanordnung, vor allem aber, weil teils Wassergasverluste, teils Gasverschlechterung durch die im Abhitzeessel beim Umschalten verbleibende Restgasmenge eintreten. Bei der Abwärtsgasung mit Abgang durch die Schlacke ist kein lohnendes Temperaturgefälle vorhanden. Ist Wärmegewinnung aus dem Wassergas erwünscht, so ist es richtiger, diese Wärme für Wasservorwärmung zu verwenden oder zum Überhitzen des Gasungsdampfes<sup>2)</sup> oder des Wind-Dampf-Gemisches, besonders unter Ausnützung der Aufwärtsgasungen.

Soweit Blasegas zur Abhitzeesselnutzung verwendet wird, ist es notwendig, den besonders gegen Ende der Blasezeit ansteigenden CO-Gehalt des Abgases nachzuverbrennen. Dazu dient eine zwischen Gaserzeuger und Abhitzeessel geschaltete »Zündkammer«, ein feuerfest ausgemauertes und mit Chamotte-Gitterwerk ausgesetzter Blechzylinder, in welchem dem eintretenden Blasegas durch eine Zweitwindleitung die zur Nachverbrennung notwendige Luft zugemessen und beigemischt wird. Beim Durchgang durch das in jeder Blasezeit neu aufgeheizte Gitterwerk findet eine vollständige Verbrennung statt, außerdem dient die Zündkammer oder ihr Unterteil gleichzeitig als Staubfang.

<sup>1)</sup> H. Entner, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 453.

<sup>2)</sup> Marischka, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 884.

Als Abhitzekessel werden liegende Rauchröhrenkessel oder stehende Wasserröhrenkessel verwandt. Eine Anlage mit liegenden Rauchröhrenkesseln, bei denen das Blasegas durch die Röhren des Kessels streicht,

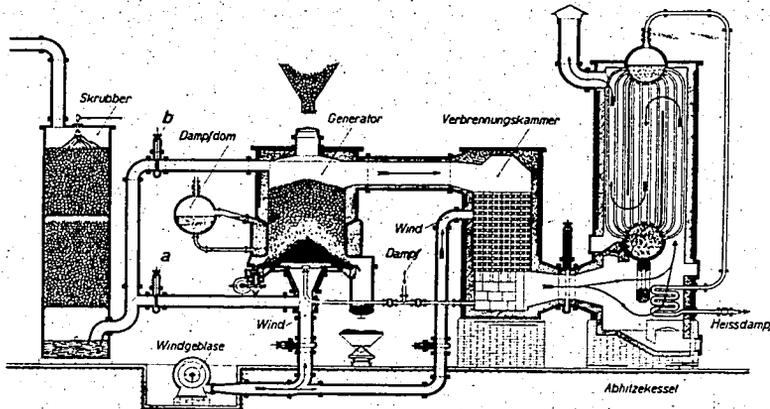


Abb. 100. Schema einer Blauwassergasanlage mit Abhitzegewinnung.

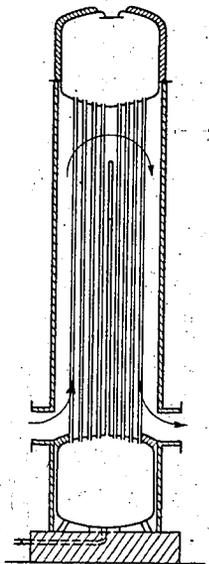


Abb. 101. Stehender Wasserröhren-Abhitzekessel.

beschreibt H. Entner<sup>1)</sup>. Der Rohrboden auf der Gas-eintrittsseite des Rauchröhrenkessels muß durch eine Chamottevormauerung geschützt werden, da der Koksstaub bei der plötzlichen Richtungsänderung und Strömungsbeschleunigung sehr stark schmirgelnd wirkt. — Eine Gesamtanordnung mit Zündkammer und stehendem Wasserröhrenkessel gibt Abb. 100. Die Blasegase werden innerhalb des wassergefüllten Röhrenbündels ein bis mehrmals umgelenkt, um weitestgehenden Wärmeaustausch zu sichern. Der aus dem Oberkessel-Dampfsammler abziehende Dampf durchläuft noch den im Blasegasstrom vor dessen Eintritt in den Kessel liegenden Überhitzer. Außer der in Abb. 100 ersichtlichen Kesselform mit liegendem Ober- und Unterkessel ist auch eine Bauart mit völlig parallel eingewalzten Siederöhren viel in Gebrauch (Abb. 101).

Während die Generator-Mantelkessel (mit Ausnahme der Hochdruck-Röhrenkessel) mit 2—3—5 atü arbeiten und ihr meist geringer Dampfverrat bei der folgenden Gasperiode verhältnismäßig schnell verbraucht ist, arbeiten die Abhitzekessel mit 12—15 atü

<sup>1)</sup> H. Entner, Gas- und Wasserfach 75 (1932), S. 453.

und geben daher einen ausreichenden Dampfvorrat. Über den Bedarf an Gasungsdampf hinausgehende Dampfmengen können in einen Dampfspeicher oder in das Betriebsnetz geleitet werden. Anordnung eines Dampfspeichers hat vor allem dann Vorteile, wenn noch innerhalb der Anlage weitere Dampfverbraucher vorhanden sind, z. B. Dampfturbinenantrieb des Windgebläses oder Dampfpumpen.

Bei richtig bemessener Ausbildung der Abhitzegegewinnung ist der erzeugte Dampf — bis über 2 kg Dampf je kg Koks — für die Gaserzeugung und alle Arbeitsvorgänge mehr als ausreichend. Dasselbe gilt, wie oben erwähnt (S. 132), von dem Hochdruckröhren-Wassergaserzeuger. Dagegen deckt der Doppelmantel-Generatorokessel mit Nieder- oder Mitteldruck allein den Dampfbedarf für die Gaserzeugung meist nicht vollständig<sup>1)</sup>.

Das in der Gaseperiode erzeugte Wassergas wird, sofern nicht in Ausnahmefällen seine fühlbare Wärme in einem Röhrenvorwärmer od. dgl. ausgenützt wird, sofort in einen Skrubber-Kühler geschickt. Diese in Wassergasanlagen üblichste Kühlerart<sup>2)</sup> besteht nur aus einem Blechzylinder, der unter Zwischenlage tragender Holzrorden mit Grobkoks oder Nußkoks gefüllt ist und von oben her durch Streudüsen oder über Prallplatten mit Wasser berieselt wird. Dieser Kühlwäscher hält zugleich mitgerissenen Koksstaub gut fest. In gleicher Weise werden auch Hordenwäscher und Regenkühler benutzt<sup>3)</sup>. Weitere Reinigung des Wassergases ist im allgemeinen nicht üblich, weil es meist dem Rohgas der Ofenanlage zugesetzt wird und mit diesem die Apparateanlage durchläuft. Wird das Wassergas aber erst dem Reingas zugesetzt, oder ist sonst seiner Verwendung wegen eine besondere Schwefelreinigung notwendig, so kann diese nicht ohne weiteres mit Reinigungsmasse erfolgen, wie sie bei Kohlgas gebraucht wird. E. Jaworski und C. Eymann<sup>3)</sup> stellten durch Betriebsbeobachtungen fest, daß übliche Reinigungsmasse in rohem Wassergas regenerierungsfähig wird und daher nach gewisser Zeit keinen Schwefel mehr aufnehmen kann. Ursache ist der höhere Gehalt an CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub>, die eine Art Versauerung der Masse bewirken. Sodazusatz war ohne Erfolg, dagegen wurde die Masse bei Sättigung der dem Wassergas zugesetzten Regenerationsluft mit Ammoniak-Rohwasser wieder belebt. Die aufgenommene Ammoniakmenge betrug 5—20 g NH<sub>3</sub> je 100 m<sup>3</sup>, der Zusatz erfolgte in einer Art Regenkühler.

Das technische Wassergas enthält in feinsten Suspension Kieselsäure, SiO<sub>2</sub>. Diese Substanz schlägt sich im Verlaufe der Rohrleitungen und Apparate nur sehr langsam nieder und erscheint noch weit hinter der Erzeugungsanlage, selbst hinter einem durchströmten Gasbehälter für Wassergas auch im Wassergasgebläse, in Ventilen, Wassergasmessern

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 68 (1925), S. 734.

<sup>2)</sup> Handb. d. Gasind. III, 1, S. 78.

<sup>3)</sup> E. Jaworski u. C. Eymann, Gas- u. Wasserfach 81 (1938), S. 453.

u. dgl. und in den Rohrleitungen. Die Entstehung dieses Niederschlages ist nicht eindeutig geklärt. Früher nahm man an, daß er von einer Zersetzung von  $\text{SiH}_4$  und  $\text{SiCl}_4$  herrühre. Neuerdings wird vermutet<sup>1)</sup>, daß sich bei der Wassergasumsetzung nebenbei aus den Schlackenbestandteilen ein Siliziumsulfid,  $\text{SiS}_2$ , bildet. Dieses ist flüchtig und wird mit Wasserdampf leicht zersetzt zu  $\text{SiO}_2$  und  $\text{H}_2\text{S}$ . Anscheinend wird, nach der Zusammensetzung der vielerorts festgestellten Rohrleitungsbeläge zu urteilen, auch Eisen in irgendeiner Form mitgeführt und niedergeschlagen; die abgelagerte Masse wirkt dann als Reinigungsmasse und nimmt als solche aus dem rohen Wassergas Schwefel auf, mit dem sie sich stark anreichert. Diese großoberflächige Kieselsäure-Eisen-Schwefelmasse ist an der Luft leicht entzündlich, bisweilen zündet sie auch erst nach längerer Zeit und bildet beim Öffnen von Wassergasapparaten und Leitungen ein sehr zu beachtendes Gefahrenmoment. Nach der Mischung mit Kohlendampf wurden solche Ablagerungen noch nicht beobachtet.

#### *ε) Zubehör der Wassergasanlagen.*

Grundzubehör der handbedienten Wassergasanlagen ist vor allem das Windgebläse. Dieses wird, obwohl nur zeitweise benötigt, doch zur Vermeidung von Zeit- und Arbeitsverlusten durch das An- und Ablaufen stets während der ganzen Arbeitszeit der Wassergasanlage in Betrieb gehalten. Wird der Windschieber am Generator gesperrt, so kommt es vor, daß die unter Gebläsedruck stehende Luft in der Windleitung unter lautem Geräusch in »pumpendes« Schwingen gerät. Dies kann vermieden werden, wenn mit Schluß der Blasezeit zugleich mit dem Abgasschieber auch auf der Saugseite des Gebläses ein Flachschieber (Blechschieber) geschlossen wird, der nur eine kleine Öffnung in der Mitte der Schieberplatte hat. Das Gebläse wälzt dann fast nur die in ihm befindliche Luft ständig um. — Der Antrieb des Gebläses erfolgt durch direkt gekuppelten Elektromotor oder durch eine vom Abhitzekegel gespeiste Dampfturbine.

Die Schieber am Generator sind Sonderbauarten, als Heißgasschieber bezeichnet. Sie müssen hitzebeständig und korrosionsfest sein, gut und sicher schließen und dürfen sich beim Bewegen nicht klemmen. Die üblichste Bauart hat statt des Schieberkeils zwei etwas beweglich aufgehängte, entgegengesetzt gerichtete Deckelplatten, die erst nach Absenken des Schiebers durch einen Keil und Preßrollen an ihre Dichtflächen angepreßt werden. Beim Öffnen löst erst wieder der Keil die Pressung der Deckel, bevor sie hochgehoben werden.

Wenn auch durch die Verriegelung der Arbeitsgänge des Blasens und Gasens grundsätzlich eine Falschschaltung und damit ein Zusammenreffen des brennbaren Wassergases mit Luft und Zündung verhindert

<sup>1)</sup> P. Dolch, Wassergas, Leipzig 1936.

wird, kann doch durch unglückliche Umstände, Klemmen eines Schiebers und andere Ursachen, gelegentlich eine explosive Mischung entstehen. Um in solchem Falle Schäden am Gaserzeuger oder an den Apparaten zu vermeiden, sind an verschiedenen Stellen der Anlage Explosionsicherungen eingebaut, als Reißblenden aus dünnem Blech oder als gefederte oder schwach belastete Explosionsplatten, z. B. in der Windleitung, an den Schlackentaschen des Generators, am Abhitzekeßel, auf der Zündkammer.

Der über Dach führende Blasegaskamin wird, um Belästigung der Umgebung durch Flugstaub möglichst zu vermindern, mit einem Staubfang versehen, sofern nicht Zündkammer und Abhitzekeßel diese Funktion schon übernehmen.

Bei dem über dem Gaserzeuger direkt über Dach führenden Kamin dient diesem Zweck eine Prallblechkonstruktion mit seitlicher Staubtasche (vgl. Abb. 89). Bei seitlichem Gasabgang aus dem geschlossenen Generator wird das Blasegas vor dem Kamin erst abwärts geleitet, in einer mit Wasserbad versehenen Staubkammer umgelenkt und dann erst über Dach abgeführt. Nübling und R. Mezger beschreiben<sup>1)</sup> einen besonders wirksamen Staubabscheider (Abb. 102), bei dem das Abgas durch den Wassers Schleier einer Streudüse geleitet und der benetzte Staub in einem Wassersumpf besser niedergeschlagen wird, als dies bei trockenem Staub möglich ist.

Der Flugstaub wird bei allen diesen mit Wasserschiff arbeitenden Staubabscheidern als Schlamm aus dem Wasser geholt.

### ξ) Leistung, Wärmewirtschaft und Betriebskosten der Wassergasanlagen.

Zahlentafel 6 gibt einen Überblick über einige betriebsmäßig in Abnahmeversuchen ermittelte Betriebszahlen von Wassergasanlagen.

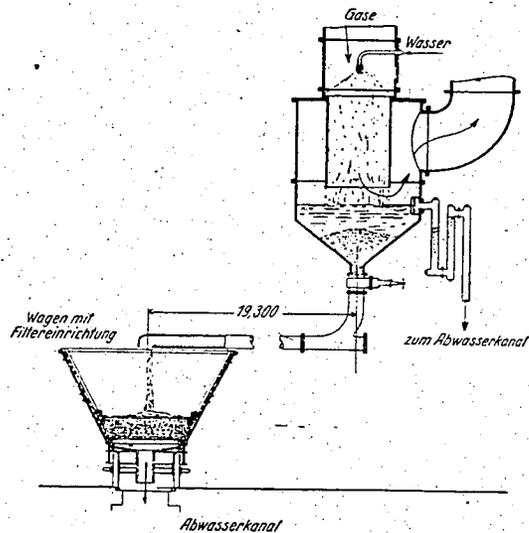


Abb. 102. Staubabscheidung am Blasegaskamin.

<sup>1)</sup> Nübling u. R. Mezger, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 456.

Zahlentafel 6.

Leistungen von Wassergasanlagen (Blauwassergas).

Generator-Durchmesser . . . . .	m	2,1	2,2	2,6
Durchsatz . . . . .	t/Tag	15,9	21,6	31,8
Gaszerzeugung . . . . .	m <sup>3</sup> /kg Koks	1,54	1,60	1,535
Koksdurchsatz . . . . .	kg/m <sup>2</sup> /h	192	237	251
Koksverbrauch . . . . .	kg/m <sup>3</sup>	0,650	0,626	0,651
Dampfverbrauch . . . . .	kg/m <sup>3</sup>	1,10	0,81	0,73
Kühlwasserverbrauch . . . . .	l/m <sup>3</sup>	—	7,0	6,84
Stromverbrauch . . . . .	W/m <sup>3</sup>	—	20,4	22,5
Dampferzeugung				
im Generatorkessel . . . . .	kg/m <sup>3</sup>	0,43	0,81	0,60
im Abhitzekessel . . . . .	kg/m <sup>3</sup>	0,99	0,68	0,78
insgesamt . . . . .	kg/m <sup>3</sup>	1,42	1,49	1,38
Gasheizwert . . . . .	H <sub>0</sub> (0°/760)	2745	2730	2830

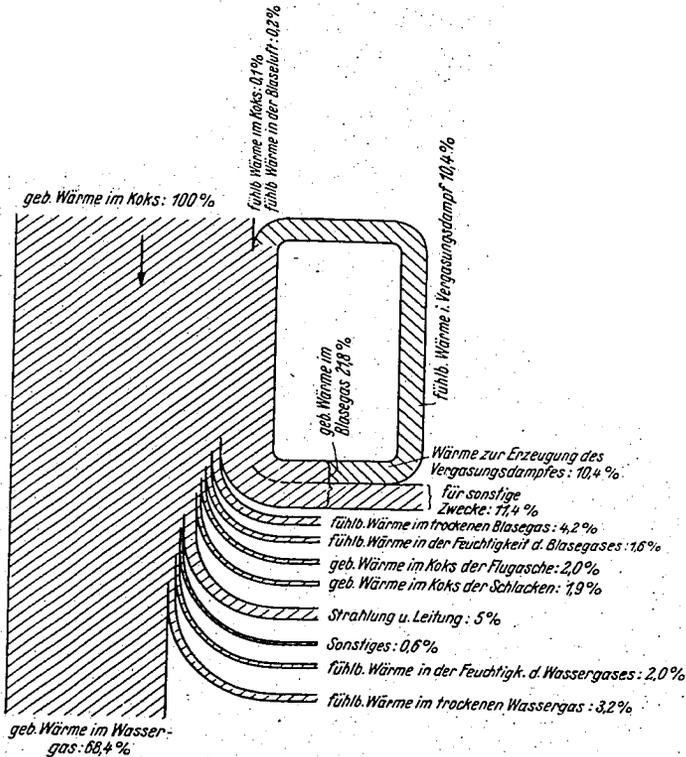


Abb. 103. Wärmestrombild eines Wassergasgenerators mit Abhitzedampfgewinnung.

H. Winter<sup>1)</sup> gibt als übliche Belastung neuzeitlicher Wassergasgeneratoren von 2,6 und 3,0 m Dmr. nur 185 kg/m<sup>2</sup>/h an, diese wird aber jetzt, weit überschritten.

Die Wärmebilanz der Wassergaserzeugung ist je nach dem Grade der Wärmeausnützung sehr verschieden. Ein errechnetes Wärmestrombild eines Wassergasgenerators mit Abhitzeessel gibt F. Schuster<sup>2)</sup> (Abb. 103). Als Gegensatz zeigen Abb. 104 den Wärmefluß einer Wassergasanlage, die ohne eigene Dampferzeugung arbeitet und Fremddampf

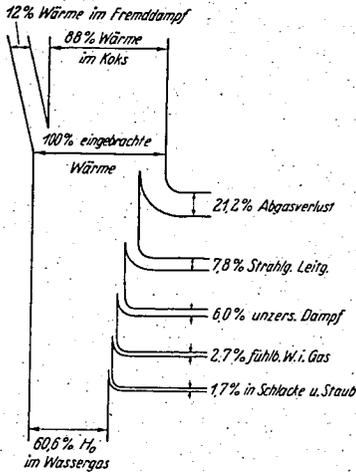


Abb. 104. Wärmestrombild eines Wassergasgenerators ohne Abhitzeverwertung.

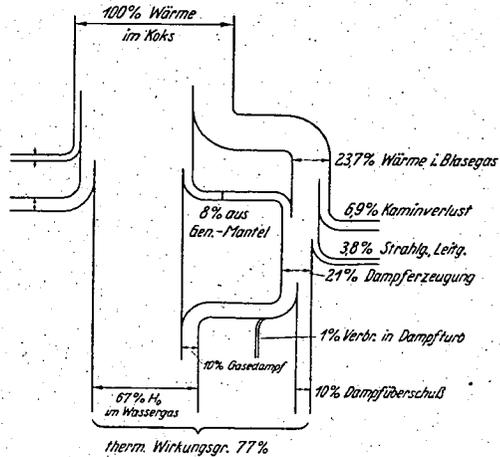


Abb. 105. Wärmestrombild eines Marischka-Hochdruck-Röhrenkessel-Wassergasgenerators.

aufnehmen muß, Abb. 105 den eines Hochdruckröhren-Wassergasgenerators mit weitgehender Wärmerückgewinnung. Bei ersterer Anlage werden nur 60,6% der eingebrachten Wärme nutzbar gewonnen, bei letzterem wird ein thermischer Wirkungsgrad von 77% erreicht.

Die Kosten der Wassergaserzeugung je m<sup>3</sup> lassen sich noch weniger allgemeingültig angeben als für andere Schwachgase, weil sie nicht nur von dem örtlichen Kokspreis und der Wärmeausnützung der Anlage abhängen, sondern sehr stark auch von der zeitlichen Belastung der Anlage oder der Länge der Betriebspausen, in denen der Wärmeverlust und Abbrand weitergehen. Außerdem ist für die Bewertung der Zweckmäßigkeit der Wassergaserzeugung nicht der absolute m<sup>3</sup>-Preis maßgebend, sondern der Erzeugungspreis für 1000 kcal im Wassergas, ver-

<sup>1)</sup> H. Winter, Taschenbuch f. Gasanst. u. Kok., Halle 1930.

<sup>2)</sup> F. Schuster, Gas- u. Wasserfach 72 (1929), S. 717.

glichen mit dem Preis von 1000 kcal des Ofengases, beide frei Behälter. Aber auch wenn dieser 1000-kcal-Preis des Wassergases über dem des Ofengases liegt, kann die Wassergaserzeugung als durchaus wirtschaftlich bezeichnet werden, wenn sie nach Lage der Betriebsverhältnisse als Spitzenausgleich zu bewerten ist.

Erzeugungspreise von Wassergas werden in der Literatur etwa in den Grenzen von 1,2 bis 3,0 Pf./m<sup>3</sup> angegeben.

#### η) Betriebsüberwachung der Wassergasanlagen.

Bei Kleinanlagen wird im allgemeinen nur nach der Probeblamme gearbeitet. Die am Generatorausgang angeschlossene Probeleitung gibt einen ständigen kleinen Teilstrom zum Steuerstand, die Flammenform und Farbe gibt einen gewissen Anhalt für das Absinken der Gasbeschaffenheit und es kann, wenn die Probeleitung nicht zu lang und stark ist, mit einiger Genauigkeit das zweckmäßige Ende der Gasung beurteilt werden. Für größere Anlagen kann aber die Probeblamme nicht mehr als ausreichend angesehen werden, weil ihre Anzeige immer mit einer gewissen Verzögerung ankommt, die im Verhältnis zu den Gasezeiten schon von Einfluß ist.

Da das Ende der Gasung durch die Temperatur des Brennstoffbettes bestimmt wird und das Sinken dieser Temperatur von der Menge des zugeführten und umgesetzten Gasungsdampfes abhängig ist, entwickelte Strache im Zusammenhang mit seinen grundlegenden Versuchen über das geeignete Verhältnis von Blase- zu Gaszeit (vgl. S. 121) einen Dampfschlußmelder<sup>1)</sup> (Abb. 106). Dieser arbeitet einerseits mit einer Drosselscheibe in der Dampfzuleitung, an der der Durchgangswiderstand und damit die Durchgangsmenge konstant gehalten wird, andererseits mit einer Drosselscheibe oder einem Meßschieber hinter dem Kühler im Strom des gekühlten Gases. Je mehr die Generatortemperatur sinkt, desto geringer wird die aus der Dampfeinheit gewonnene Gasmenge, bis ein Verhältnis erreicht wird, bei dem weiterer Dampfzusatz nicht mehr wirtschaftlich ist. Bei Erreichung dieses für jede Anlage festzulegenden und zeitweise nachzuprüfenden Grenzverhältnisses von Dampfdurchgang zu Gaserzeugung wird ein Signal ausgelöst, demzufolge der Gaser umschaltet.

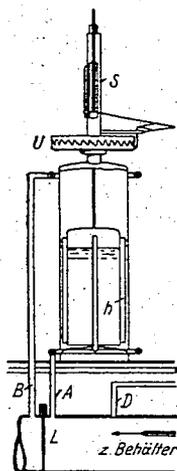


Abb. 106.  
Dampfschlußmelder  
nach Strache.

Über ausführliche Versuche zur Dampfmesung mit Blenden unter Anwendung der Bendemannschen Werte für Durchfluß für Dampf

<sup>1)</sup> Gas- u. Wasserfach 50 (1907), S. 885; Gas- u. Wasserfach 65 (1927), S. 697; H. Winter, Taschenb. f. Gasanst. u. Kok., Halle 1930.

durch Düsen<sup>1)</sup> berichtet R. Geipert<sup>2)</sup>. Die Einhaltung der Dampfmenge, die für einen Wassergasgenerator und die in ihm üblicherweise vergaste Koks Körnung den günstigsten Betriebszustand ergibt, ist für die Wirtschaftlichkeit der Wassergaserzeugung von grundlegender Bedeutung, deshalb ist auch regelmäßige Kontrolle der Blenden auf Verschleiß notwendig.

Die erstmalige und zeitweise zu prüfende Einstellung der Arbeitsweise kann zuverlässig nur an Hand der Gasuntersuchung erfolgen. Bei der Kürze der Perioden und der dabei ständig wechselnden Beschaffenheit des Gases ist eine Durchschnittsprüfung nicht maßgebend, sondern es muß der Verlauf der Änderung in der Gasanalyse festgestellt werden. Dies ist möglich, indem man mit der Stoppuhr zu bestimmten Zeiten verschiedener Gasungen Stichproben mit dem Orsat-Apparat nimmt und die Analysendaten in ein Koordinatensystem einträgt, oder wesentlich sicherer und übersichtlicher nach dem Vorschlag von W. Schweder<sup>3)</sup> durch Entnahme von Reihenproben über je eine ganze Gasung oder Blasezeit mit einer zusammengebauten Gasbürettenreihe (Abb. 107) mit einer CO<sub>2</sub>-Absorptionsbürette. Die gleiche Untersuchung ist auch durchführbar mit einer geschalteten Reihe Gasprüberöhren, deren Inhalt der Reihe nach in einen Orsatapparat übernommen wird, besonders auch zur Prüfung des CO-Gehaltes der Blasegasproben. Die kurvenmäßige Aufzeichnung der CO<sub>2</sub>- bzw. CO-Werte mehrerer gleichartiger auf diese Weise untersuchter Gasezeiten oder Blasezeiten gibt einen zuverlässigen Hinweis auf notwendige Änderungen der Arbeitsweise.

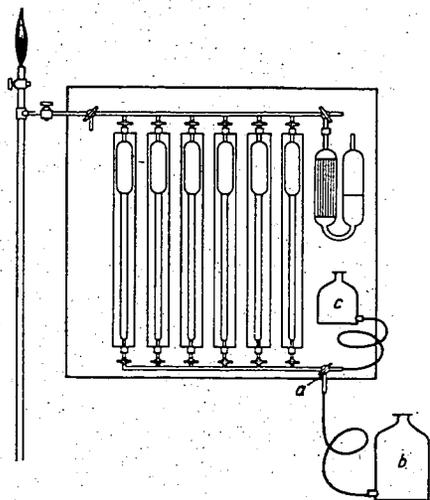


Abb. 107. Gasprobenahme nach Schweder.

Die Kohlensäureregistrierung mit schreibenden CO<sub>2</sub>-Apparaten gibt infolge des nicht mit der Periodenzahl des CO<sub>2</sub>-Prüfers übereinstimmenden Wechsels der Arbeitsperioden und der Anzeigeverzögerung durch die Zuleitungen kein zuverlässiges Bild.

<sup>1)</sup> Hütte, 23. Aufl. I. S. 447; Handb. d. Gasind. I, 5. Teil, S. 68.

<sup>2)</sup> R. Geipert, Gas- u. Wasserfach 65 (1922), S. 441.

<sup>3)</sup> W. Schweder, Gas- u. Wasserfach 72 (1929), S. 261.

Für die laufende Betriebsüberwachung und als Arbeitsanhalt für den Gaser hat sich auch ein »Gasungsschreiber« sehr bewährt, der unter der Voraussetzung einer durch Blende und geregelten Vordruck stets gleichmäßig gehaltenen Dampfzufuhr lediglich die Gasmenge hinter dem Skrubber durch einen Staurand erfaßt und dessen Differenzdruck auf dem Schreibstreifen einer mit einem 8-Stunden-Uhrwerk (statt sonst

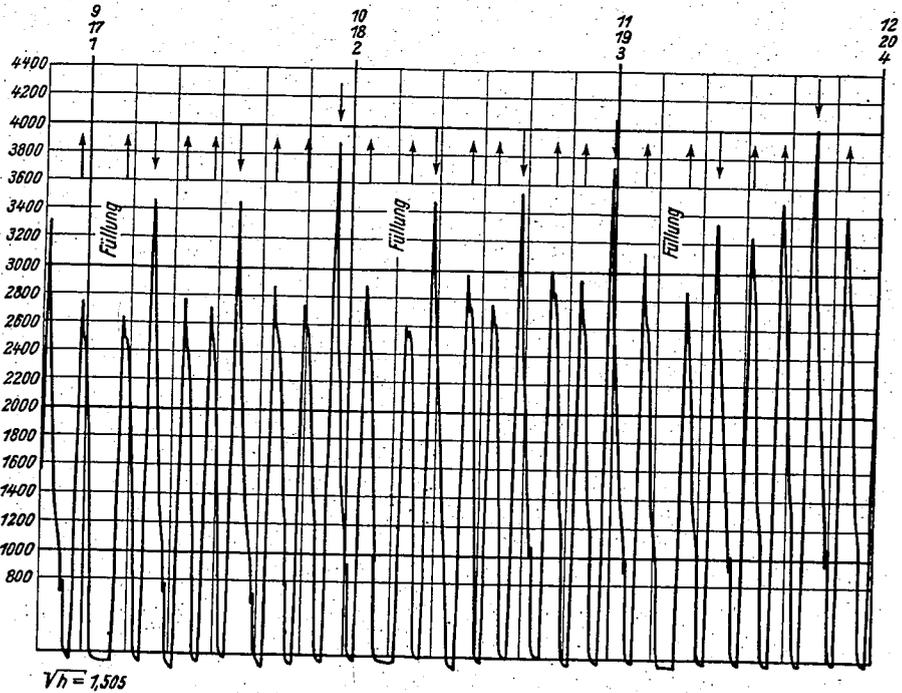


Abb. 108. Diagramm eines »Gasungsschreibers« mit 8-Stunden-Uhrwerk.

üblichen 24-Stunden-Werkes) versehenen Schreibtrommel aufschreibt, der eine Einteilung in  $m^3/h$  trägt. Der Kurvenverlauf jeder Gasung ist bei diesen starken Streifenvorschub gut übersichtlich (Abb. 108) und der Gaser erhält nur Anweisung, bei welcher Gasmenge die Gasungen abzubrechen sind<sup>1)</sup>.

Zur allgemeinen Kontrolle der Anlage wird natürlich am Steuerstuhl eine Manometertafel zur Beobachtung durch den Gaser aufgestellt, die die Gasdrucke im Gaserzeuger oben und unten und in der Windleitung, den Dampfdruck vor den Dampfblenden, den Druck der Hydraulik,

<sup>1)</sup> Licht u. Wasser (1937), S. 133.

gegebenenfalls auch Temperaturanzeigen im Generator und im Abgas- und Gasstrom übersichtlich zusammenfaßt.

d) Automatisch arbeitende Wassergasanlagen.

α) Grundlagen und Betriebsweise der automatischen Anlagen.

Automatische Wassergasanlagen sind stets Großanlagen, weil die dazu notwendige Apparatur nur für große Einheiten und möglichst für mehrere zusammenarbeitende Aggregate wirtschaftlich einzurichten ist. Der Begriff »halbautomatische Steuerung« hat mit den automatischen Anlagen nichts zu tun; die halbautomatische Steuerung arbeitet, wie erwähnt, mit arbeitserleichternder Druckübertragung, braucht aber für jeden Arbeitsgang eine Handbetätigung. Es gibt auch Anlagen mit teilweiser Automatisierung, z. B. mit automatischer Bräunstoffzuführung, wie bei Generatoren oder Sauggasanlagen. Das Ziel der Konstruktion automatischer Wassergasanlagen war aber die vollständige Automatisierung jedes Arbeitsganges bei weitgehend gleichmäßiger Arbeitsweise und Erzeugung.

Eine besonders eingehende Darstellung der Einrichtung und Arbeitsweise von automatischen Wassergasanlagen nach Humphreys und Glasgow geben Nübling und R. Mezger<sup>1)</sup>.

Diese Anlagen an sich unterscheiden sich, abgesehen von der Automatik, in der Gesamtanordnung nicht wesentlich von den bisher er-

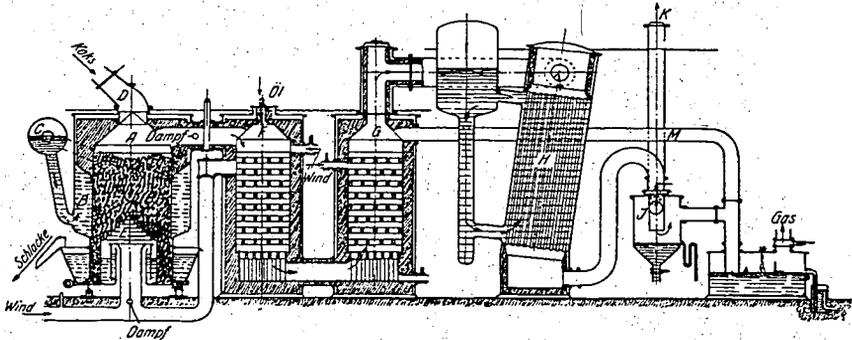


Abb. 109. Gesamtanordnung einer automatischen Wassergasanlage nach Humphreys und Glasgow.

wähnten Wassergasanlagen. Sie arbeiten zwar oft mit Karburierung, besonders im Ausland, da dies aber kein Charakteristikum der automatischen Arbeitsweise ist, wird auf diesen Teil der Anlage später zurückgekommen (vgl. Karburierung S. 169). Abb. 109 zeigt das Schema der

<sup>1)</sup> Nübling u. R. Mezger, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 1085.

einen von R. Mezger beschriebenen Anlage (Paris-Genevilliers). Hervorzuheben ist am Generator der für gleichmäßige Austragung geeignete nasse Abschluß und der Gasweg des erzeugten Gases. Der beim nassen Abschluß erwähnte Nachteil (S. 137) des Nachgasens bei Stillstand entfällt bei der ununterbrochenen Anlage. Der Gasweg führt wegen der Karburierung durch den Überhitzer, genau wie das Blasegas, das Wassergas kann dann auch noch durch den Abhitzekessel geleitet werden, geht aber im allgemeinen vom Überhitzer direkt durch eine Umgangsleitung zu einem Staubabscheider hinter dem Abhitzekessel (Gasvorlage). Die Stochlöcher im Generatordeckel werden wegen des tatsächlich störungsfreien Dauerbetriebes meist weggelassen, dagegen ist eine Stopfbüchsen-durchführung für einen Höhenstandtaster zur laufenden Beobachtung des Brennstoffstandes eingebaut.

Die automatische Betriebsweise weicht von der allgemeinen Anordnung der handbedienten in folgenden Punkten ab:

1. Der Drehrost, der bei Handbedienung nur zeitweise läuft, arbeitet bei der automatischen Anlage ständig mit entsprechend geringerer Geschwindigkeit; aus diesem Grunde ist die Exzentrizität des glatten Rostturmes stärker ausgeprägt als bei den erwähnten Wassergasrosten mit Schlackenräumen.

2. Während bei den handbedienten Anlagen im allgemeinen auf zwei Aufwärtsgasen eine Abwärtsgasung folgt und diese je nach Generatorstand auch geändert werden können, arbeitet die automatische Steuerung auf äußerste Gleichmäßigkeit in der Bedienung hin. Es gibt deshalb nur eine Art des Gasens; jede Arbeitsperiode besteht aus dem Blasen, einer Aufwärtsgasung und unmittelbar anschließender Abwärtsgasung; nebst kurzem Spülen von unten (zur Vermeidung von Verpuffungen). Die Abwärtsgasung wird hier meist als »Bac run« bezeichnet, das ist ein von den Karburieranlagen übernommener Begriff, nämlich die Wärmerückführung aus der Zündkammer in den Generator durch Überhitzen des Abwärtsdampfes in der Zündkammer. Die Blasezeit wird mit  $1\frac{1}{2}$ — $1\frac{3}{4}$  min angegeben, das Verhältnis Blasen zu Gasen etwa mit 1:1,8 bis 1:2 gegenüber 1:3 bis 1:4 bei handbedienten Anlagen. Diese zeitliche Verschiebung bedeutet nicht, daß, wie es äußerlich erscheint, das Blasen gegenüber dem Gasen verlängert wird, vielmehr wird selbstverständlich auch nur die zur Speicherung der Reaktionswärme notwendige Blasegasmenge entsprechend erzeugt, nur in relativ längerer Zeit durch kleinere sekundliche Windmenge, wegen der geringeren zulässigen Winddruckhöhe.

Arbeiten mehrere automatische Generatoren zusammen, so wird ihre Automatik so gekuppelt, daß die Blasezeiten möglichst wenig oder gar nicht zusammenfallen.

β) Die Automatik.

Die Automatik erstreckt sich, wie gesagt, auf möglichst viele Arbeitsgänge, also auf Kohlenzufuhr, Kohlenwägung, Ascheaustragung, Schalten der Schieber für Wind, Blasegas, Zweitwind der Zündkammer und der Gas- und Dampfschieber aufwärts und abwärts, ferner regelt sie die Reihenfolge und Zeitdauer aller Arbeitsvorgänge.

Von Hand oder getrennt maschinell zu bedienen bleiben somit nur noch die Kohlezufuhr zum Vorratsbunker und die Abfuhr von Schlacke und Flugstaub.

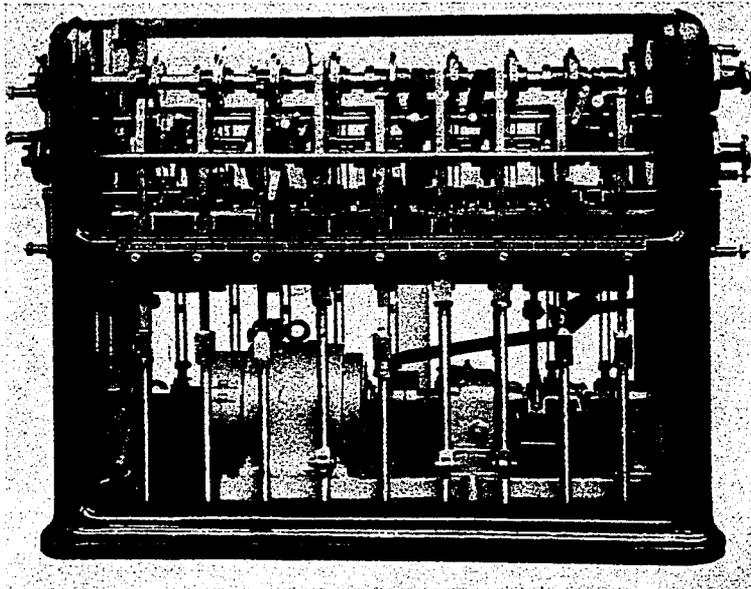


Abb. 110. Steuerung der automatischen Anlage («Klavier»).

Der ganze Schaltmechanismus der Automatik ist für jede Einheit in einem Apparat zusammengefaßt, dem sog. »Klavier«. Abb. 110 gibt den Einblick in eine geöffnete Apparatur; den Antrieb erhält diese durch einen unten eingebauten Motor. — Ferner muß die Automatik bei Störung irgendeines Arbeitsvorganges alle weiteren, etwa zur Gefährdung der Anlage führenden Arbeitsgänge ausschalten und für den Fall längerer Störung die Möglichkeit geben, alle Schaltungen unter Verzicht auf die selbsttätige Bewegung vorübergehend ganz von Hand zu bedienen.

Über die sehr komplizierte Bauart und Arbeitsweise dieser automatischen Apparaturen liegen in der Literatur wenig Angaben vor,

deshalb sei im Hinblick auf die Wichtigkeit dieser neuzeitlichen maschinellen Entwicklung die sehr eingehende und übersichtliche Beschreibung, die R. Mezger davon gibt<sup>1)</sup>, nachstehend wörtlich wiedergegeben:

*Wir nehmen diese Beschreibung an Hand des französischen Patentes Nr. 594772 vor unter Weglassung von allem Unwesentlichen. Vorausgeschickt sei, daß alle zu steuernden Organe mit Wasserdruck von 30 atü betätigt werden. Zum Verständnis soll zunächst die automatische Betätigung für nur 1 Abschlußorgan herausgegriffen werden, weil sich diese Anordnung für sämtliche Abschlußorgane wiederholt.*

*In Abb. 111 wird die Welle 1 durch einen Motor mit veränderlicher Drehzahl angetrieben. Diese Welle 1 betätigt an irgendeiner nicht gezeigten Stelle mit Hilfe einer Zahnräderübersetzung die Welle 2 derart, daß sie sich in umgekehrter Richtung mit gleicher Geschwindigkeit wie die Welle 1 dreht. Auf der Welle 1 ist die Scheibe 2 und auf der Welle 2 die Scheibe 3 aufgekeilt. Diese Scheiben können in ihrer relativen Lage zur Achse nach Wunsch den Betriebserfordernissen angepaßt werden. In den Scheiben 2 und 3 sind die Knaggenrasten 4 und 5 in der gezeigten Form angeordnet. In diese Knaggenrasten greifen die Knaggenhebel 6 und 7, die um eine Achse 8 lose drehbar sind, ein, sobald dies die relative Lage der Knaggenrasten erlaubt. Der Knaggenhebel 6 steht mit der Verbindungsstange 9 und der Knaggenhebel 7 mit der Verbindungsstange 10 im Zusammenhang derart, daß die Verbindungsstange 1 einen um 11 drehbaren Hebel 12 betätigt, während die Verbindungsstange 10 um den gleichen Drehpunkt 11 einen Hebel 13 periodisch in Bewegung setzt.*

*Der Drehpunkt 11 ist auf einer Schubstange 14 befestigt. Die Schubstange 14 betätigt ihrerseits wieder einen Hebelarm 15, der um Zapfen 16 drehbar angeordnet ist und eine mit dem Wasserzuführungshilfskolben 17 verbundene Stange in Bewegung zu setzen vermag. Die Welle 18 wird durch einen auf Welle 2 sitzenden Exzenter in hin- und hergehende Bewegung derart versetzt, daß der starke Hebelarm 19 hin- und herschwingt. Steht dann gerade z. B. der Hebel 12 in der gezeichneten Stellung, so wird die Schubstange 14 nach rechts geschoben und der Hilfskolben 20 bewegt sich nach unten. Ist dagegen der Hebel 13 in seiner unteren Stellung, so greift der Hebel 19 an diesem an, schiebt die Stange 14 nach links und demzufolge den Kolben 20 nach oben. — Eine sparsame Betriebswirtschaft zeigt der Hilfskolben 20 insofern, als das wertvolle Druckwasser von 30 atü nur auf der einen Seite des Hauptkolbens 21 verlorengeht. Der Kolben 21 betätigt mit Hilfe der Kolbenstange 22 das Absperrorgan. Die Bewegung des Kolbens 21 in der anderen Richtung dagegen erfolgt durch einen Wasserdifferenzdruck, der sich daraus ergibt, daß das Druckwasser infolge des Fehlens der Kolbenstange auf der oberen Seite des Kolbens auf einer größeren Fläche angreift als auf der anderen Seite, wo ein Teil der Kolbenfläche*

<sup>1)</sup> Nübling u. R. Mezger, Gas- u. Wasserfach 70 (1927), S. 1121.

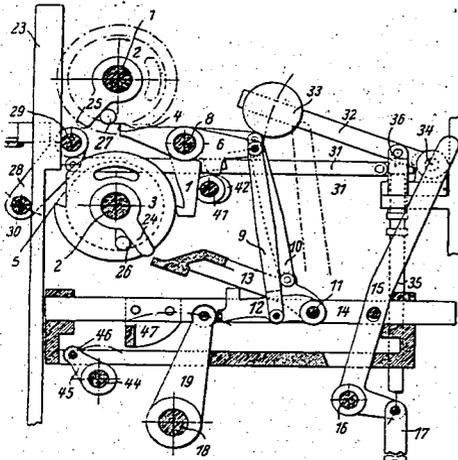


Abb. 111.

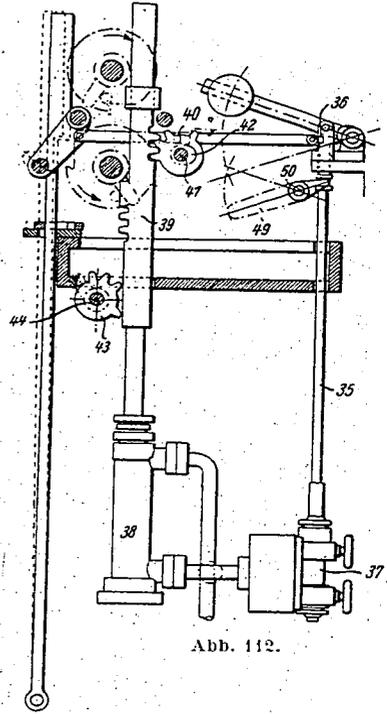


Abb. 112.

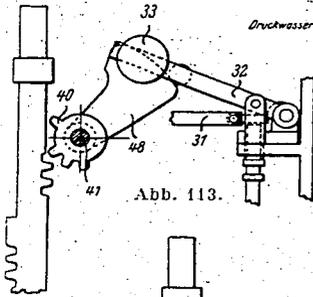


Abb. 113.

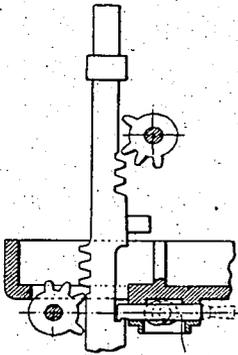


Abb. 114.

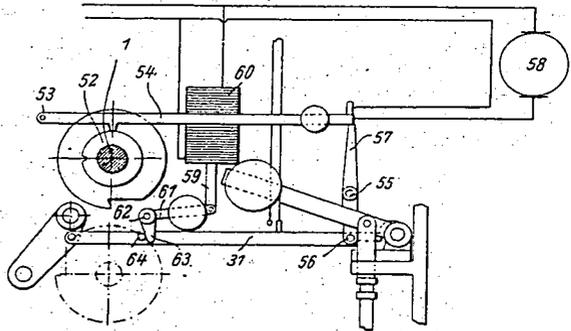


Abb. 115.

Abb. 111—115. Teilbilder der automatischen Steuerung.

durch die Kolbenstange 22 belegt ist. Im übrigen ist die Wirkungsweise des Hilfszylinders auf Grund der Abb. 111 ohne weiteres verständlich.

Es ist natürlich notwendig, daß beim Ausbleiben eines beabsichtigten Öffnungs- oder Schließvorganges eines Ventils sofort Sicherheitsmaßnahmen derart getroffen sind, daß die Apparatur selbsttätig ausschaltet; andernfalls müßte man ja Explosionen und damit weitgehende Schädigungen der Apparatur gewärtigen. Dies ist in sehr sinniger Weise dadurch erreicht worden, daß die Ventilbewegung auf die Schubstange 23 zurückgegeben wird. Die Bewegung dieser Schubstange ist dann derart, daß im Falle des fehlerhaften Ausbleibens irgendeiner Ventilbewegung das obere breitere Teil der Schubstange 23 von einem Finger 24 bzw. 25 zur Seite gedrückt wird. Dieser ist lose auf der Achse 2 bzw. 1 befestigt und wird durch eine Nocke 26 bzw. 27 betätigt. Bei diesem seitlichen Ausweichen der Stange 23 wird ein Rahmen 28, der um 29 drehbar gelagert ist, durch Angriff an der Verbindungsstange 30 zur Seite getrieben. Mit diesem Rahmen ist anderseits drehbar die Schubstange 31 verbunden, die durch eine Knagge den Hebel 32 mit Gegengewicht 33 in seiner Stellung verriegelt. Durch Ausweichen der Schubstange 31 nach links wird der um 34 drehbare Hebel 32 freigegeben, der seinerseits eine Kolbenstange 35 nach unten drückt. Diese Kolbenstange 35 ist nicht fest mit dem oberen Teil 36 verbunden, es setzt sich vielmehr dieser obere Teil 36 hülsenartig auf die Kolbenstange 35 auf. Die Kolbenstange 35 bedient einen Hilfszylinder 37 (Abb. 112), der seinerseits die Wasserzuführung zu einem Wasserdruckzylinder 38 steuert. Dieser dient aber nicht einer Ventilbetätigung, sondern trägt vielmehr eine beiderseitig teilweise gezahnte Zahnstange 39, wie das aus Abb. 112 ersichtlich ist.

Bei Niedergleiten des Kolbens wird nämlich durch die eigentümliche Verzahnung des in die Zahnstange eingreifenden Zahnrades 40 die Welle 41 derart gedreht, daß ein daran befestigter Exzenter 42 (Abb. 112) die beiden Knaggenhebel 6 und 7 anhebt und damit jede weitere Ventilbetätigung unterbindet. Dabei wird der Exzenter in dieser Stellung selbsttätig durch die besondere Verzahnung von 40 verriegelt. Bei dem weiteren Hinuntergleiten der Zahnstange kommt schließlich das auf der anderen Seite befindliche Zahnrad 43 (Abb. 112) zum Eingriff. Dieses verdreht die Welle 44 (Abb. 111, 112) derart, daß ein mit dieser fest verbundener Hebelarm 45, der außen eine Rolle 46 trägt, an der vorstehenden Knagge 47 der Schubstange 14 angreift und damit alle Schubstangen 14 nach rechts schiebt, was zur Folge hat, daß sich alle Ventile schließen, außer denen, die den Durchgang vom Generator zur Abgasklappe freigeben. Durch das seitliche Ausweichen der Stange 23 jedoch werden elektrische Kontakte derart betätigt, daß der Wärter sofort durch Licht- und Lautzeichen von dem eingetretenen Ereignis unterrichtet wird.

Wie die Abb. 113 zeigt, ist bereits beim Niedergang des Kolbens in Zylinder 38 der gefallene Hebel 32 mit Gegengewicht 33 wieder durch

Hebel 48, der mit Welle 41 ebenfalls verbunden ist, angehoben worden, so daß durch einen Handgriff die am rechten Ende von Schubstange 31 befindliche Knagge nach Behebung der Fehler wieder eingerückt werden kann.

Für die Freigabe der Apparatur zum Weiterbetrieb ist aber die Betätigung eines Handhebels 49 (Abb. 112) erforderlich, der, im Zapfen 50 drehbar, die Schubstange 35 wieder in die Hülse 36 hineinschiebt. Durch die Bewegung der Schubstange 35 nach oben hebt sich auch wieder durch Umsteuern des Wasserdruckes in 37 die Zahnstange 39 (Abb. 112), so daß durch die entgegengesetzte Bewegung der Zahnräder 40 und 43 sowohl die Schubstange 14 als auch die Knaggenhebel 6 und 7 wieder freigegeben werden.

Es ist aber auch möglich — gemäß Abb. 114 —, die Zahnstange vorher durch eine Verriegelung 51 so festzuhalten, daß wohl der Hebel 45 (Abb. 111) und damit die Schubstange 14, nicht aber der Exzenter 42 und damit die Knaggenhebel 6 und 7 freigegeben werden. Dies erlaubt eine Handbetätigung der Hebel 15, die in üblicher Weise gegeneinander verriegelt sind. Auf diese Weise ist allgemein eine Handsteuerung sämtlicher Ventile möglich. Einzelne Ventile können dadurch außer Eingriff gebracht werden, daß die auf der Achse verschiebbaren Finger 24 und 25 durch einen Handgriff zur Seite geschoben und die entsprechenden Knaggenhebel 6 und 7 gleichzeitig in ihrer hohen Stellung verriegelt werden. Bleibt die Apparatur stehen, so rückt sich auch der Motor nach einer gewissen Zeit selbsttätig aus. Diese Ausrückung ist in Abb. 115 dargestellt und arbeitet wie folgt: Auf der Achse 1 sitzt eine Nockenscheibe 52. Auf dieser Nockenscheibe 52 reitet der mit einem Gegengewicht beschwerte, um einen Drehpunkt 53 drehbare Hebel 54. Dieser Hebel 54 ruht mit seinem freien Ende auf einem um 55 fest und 56 lose drehbaren Hebel 57 und vermittelt in dieser Stellung, wie aus Abb. 115 ersichtlich, die Stromzufuhr zu dem die Wellen 1, 2 und 18 (Abb. 111) betätigenden Motor 58 (Abb. 115). Weicht durch Eintreten einer Störung die Schubstange 31 nach links aus, so wird der Hebel 57 um seinen festen Drehpunkt 55 mit seinem oberen Arm nach rechts herausgedreht, so daß der Hebel 54 freigegeben wird. Dieser schnappt, sobald durch Drehung von 52 dazu Gelegenheit gegeben wird, in die Nockenkerbe der Scheibe 52 mit seiner Nocke ein. Die Folge davon ist, daß der Stromkreis nach dem Motor zu unterbrochen wird.

Die Abb. 115 zeigt auch die Sicherheitsmaßnahme, die für den Fall des Ausbleibens der Stromzuführung zum Generator getroffen ist. Ist der Stromkreis nämlich geschlossen und die Apparatur im Gang, so wird ein Magnet 59 in der Magnetspule 60 in seiner oberen Stellung gehalten. Dieser Magnet ist mit einem losen Gelenk mit Hebel 61 verbunden, der, um Zapfen 62 drehbar, den Daumen 63 trägt. Auf der Schubstange 31 befindet sich ein Anschlag 64. In der hohen Stellung des Magneten 59 greift der Daumen 63, 64 nicht an. Bleibt dagegen der Strom aus, so fällt der Magnet 59 und drückt, mit einem Gewicht beschwert, den Daumen 63 nach links,

wodurch die Schubstange 31 ebenfalls nach links ausweicht und in der bereits beschriebenen Weise die ganze Apparatur auf Durchgang stellt.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß, wenn man die Welle 1 in ihrer relativen Lage gegen Welle 2 verdreht, das Ereignis des Gasebeginns in bezug auf den Blasebeginn, d. h. die relative Blasedauer in bezug auf die Gasedauer, willkürlich geändert werden kann. In ähnlicher Weise läßt sich auch die Dauer des Gasens von oben im Verhältnis zur Dauer des Gasens von unten regeln.

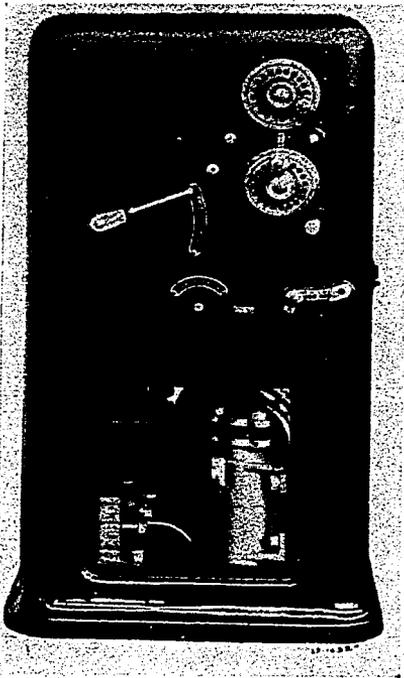


Abb. 116. Automatik-Steuerapparat, Seitenansicht.

Dieses Verstellen der Hauptwellen gegeneinander zur zeitlichen Änderung der Arbeitsgänge erfolgt an Stellscheiben, die außerhalb der Stellwerksverkleidung angebracht sind und von Hand während des Betriebes ohne Störung der Arbeitsweise betätigt werden können (Abb. 116).

Eine andere Anordnung einer Automatik für Wassergasgeneratoren (Pintsch) zeigen die Abb. 117 und 118<sup>1)</sup>. Steuerndes Organ ist die von einem Motor schrittweise gedrehte Zeitscheibe *h*, auf deren Rand die Reiter *i* wahlweise verstellbar befestigt sind. Jeder Reiter gibt bei Drehen der Scheibe Impuls für Bewegung des Schwenkhebels *g*, des Zuggestänges *d* und der Nockenscheibe *b* und damit des Ölkolbenschiebers, der jeweils einen — dem betreffenden Reiter entsprechenden — Ölweg für das Drucköl freigibt und einen Schaltvorgang auslöst.

Auch bei dieser Bauart ist eine Sicherheitseinrichtung vorhanden, durch die bei Versagen oder nicht vollständiger Abwicklung irgendeines Arbeitsganges eine Alarmvorrichtung zugleich mit automatischem Stillstand der Anlage ausgelöst wird.

Handbetrieb ist ohne weiteres möglich durch das vor der Nockenscheibe angebrachte Handrad. Verstellen der Arbeitsgänge im einzelnen geschieht durch Versetzen der Reiter auf der Nockenscheibe; Veränderung der ganzen Arbeitsperiode unter Beibehaltung des durch die Reiter

<sup>1)</sup> Jul. Pintsch, DRPP. 586 672, 587 722, 598 895, 622 762.

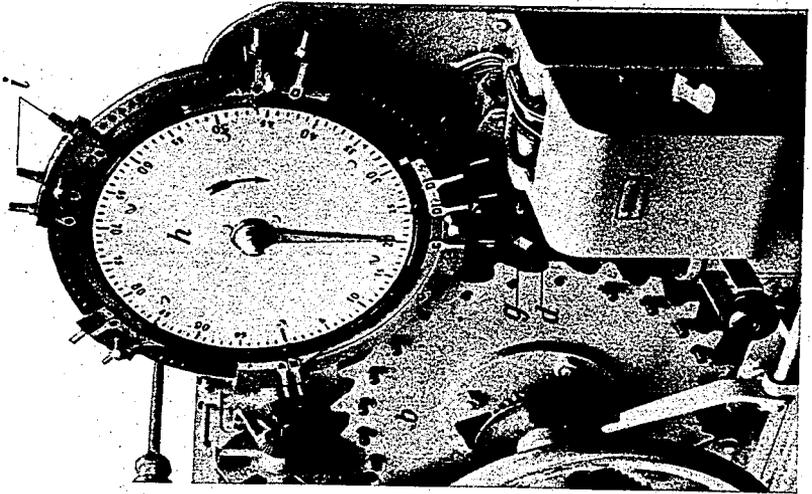


Abb. 118. Zeitscheibe des automatischen Steuerapparats.

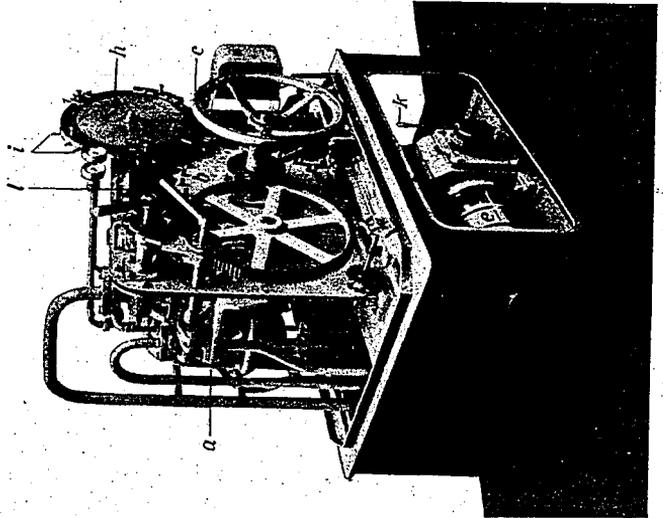


Abb. 117. Automatischer Steuerapparat (Pinisch).

gegebenen Zeitverhältnisses der Einzelfunktionen ist möglich durch Verstellen des Schalthebels *k* (Abb. 117), und zwar etwa zwischen 3 und 5 min Gesamtdauer.

Die von Pintsch angewandte automatische Brennstoffzufuhr mit automatischer Wägung ist in Abb. 119 dargestellt. Die Einzelmenge ist ohne Änderung der Schaltfolge durch das Gewicht zu verändern.

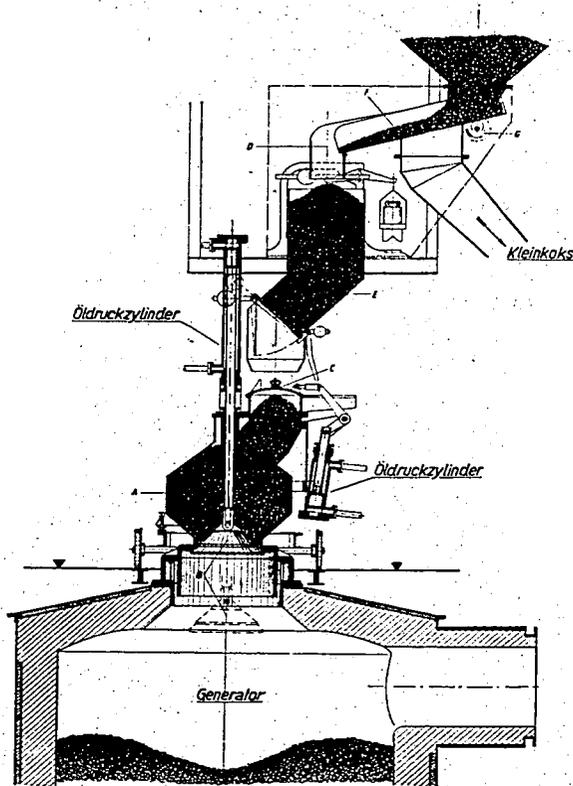


Abb. 119. Automatische Kohlenbeschickung.

Eine anschauliche schematische Übersicht der Wind-, Dampf- und Gas-Wege in einer automatischen Blauwassergasanlage gibt G. Wilke<sup>1)</sup>. Die Anlage (Demag, System Humphreys u. Glasgow) besteht aus dem Generator, der Zündkammer, liegendem Abhitzekeßel, Gasvorlage und Kamin. In Abb. 120 a—d sind die Schieberstellungen und Strömungs-

<sup>1)</sup> G. Wilke, Techn. Mitt. Krupp (1937), S. 44.

wege als »Stoff-Fließbild« für die Arbeitsgänge Blasen, Gasen von unten, Bac run und Spülen dargestellt: Das Blasegas zieht durch Zündkammer, Abhitzekessel und Kamin, das Aufwärtswassergas bei der vorliegenden Anordnung auch durch Zündkammer und Abhitzekessel und bei geschlossenem Kamin nach der Gasvorlage; das Abwärtsgas wird unmittelbar zur Vorlage geführt und das Spülgas zum Kamin.

*γ) Zubehör, Leistung und Wirtschaftlichkeit der automatischen Anlagen.*

Das Zubehör der automatischen Wassergasanlagen ist im wesentlichen das gleiche wie bei jeder neuzeitlichen größeren Wassergasanlage, umfaßt also Gebläse, Zündkammer, Abhitzekessel, Staubfänger usw. in der früher beschriebenen Art und Ausführung.

In der Betriebskontrolle, die sehr weitgehend an den Kontroll- und Manometertafeln durchgebildet ist, tritt neu hinzu die Beobachtung des Brennstoffstandes im Gaserzeuger, den eine mit Stopfbüchse durch den Deckel des Generators geführte, bewegliche Sonde anzeigt.

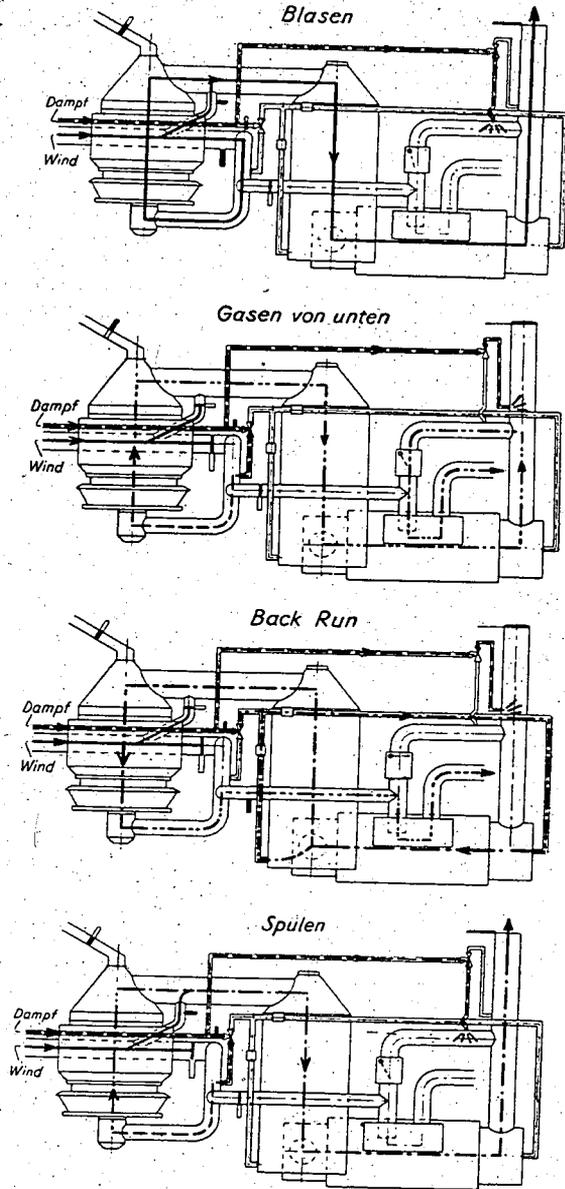


Abb. 120.  
Stoff-Fließbild einer automatischen Wassergasanlage.

Über Leistung und Wirtschaftlichkeit von automatisch auf Blauwassergas arbeitenden Anlagen in Gaswerken sind in der Literatur nur wenige und unvollständige Angaben verzeichnet, da diese Anlagen mehr auf Karburierung arbeiten. Hinsichtlich Blauwassergaserzeugung nehmen sie für sich in Anspruch, daß sie infolge der regelmäßigen, theoretisch gut ausgeglichenen Arbeitsweise eine Verringerung des Brennstoffverbrauches und infolge der schnelleren und stets rechtzeitigen Umschaltung eine Leistungssteigerung der Anlage erreichen, abgesehen von der Ersparnis an Bedienungspersonal. Außerdem ist in automatischen Großanlagen neuerdings die Leistung nachweislich sehr gesteigert durch neuzeitliche Änderung der Arbeitsweise, worauf noch zurückzukommen ist (vgl. folg. Abschnitt); diese Arbeitsweise ist aber keine Bedingung für die automatische Arbeit.

Der Wärmestrom der automatischen Anlage entspricht ebenfalls im wesentlichen dem großer Wassergasanlagen mit Abhitzeessel, nur pflegt der Selbstverbrauch des Überschußdampfes in der Anlage besonders weitgehend durchgeführt zu werden.

#### e) Hochleistungs-Wassergasgeneratoren.

##### *α) Entwicklung und Betriebsweise.*

Der außerordentlich große Bedarf an Wassergas für verschiedene Syntheseverfahren, besonders für die Treibstoffsynthese, und die Notwendigkeit, dieses Ausgangsgas im Interesse der Wirtschaftlichkeit des ganzen Prozesses so billig als möglich herzustellen, führte zu weiteren umwälzenden Entwicklungen und Leistungssteigerungen in der Wassergaserzeugung, sowohl auf dem Wege der intermittierenden Erzeugung in Generatoren wie auch in der Fließerzeugung (vgl. Teil 2 ds. Bds.).

Die Verbilligung der Wassergaserzeugung wurde bei der Wechselbetriebsweise vor allem durch Leistungssteigerung der Gaserzeugereinheit gesucht; dadurch sanken sowohl die Anlagekosten und der Kapitaldienst als auch die laufenden Bedienungskosten. Selbstverständlich arbeiten solche Hochleistungsanlagen durchweg vollautomatisch.

Diese Leistungssteigerung der Gaserzeugereinheit wurde erreicht einerseits durch Vergrößerung der freien Rostquerschnitte und der Windmengen je Zeiteinheit, andererseits durch besondere Rostausbildung. Die größeren Rostquerschnitte gestatten Durchgang größerer Windmengen ohne größeren Druckverlust, also auch größere Strömungsgeschwindigkeiten im Brennstoffbett. Nach früheren Erfahrungen der Wassergaspraxis brachte die Erhöhung der Windgeschwindigkeit beim Blasen die Gefahr mit sich, daß die Verbrennung zu scharf wurde, so daß man die Lage der Feuerzone nicht mehr genügend in der Hand hatte und der Rost stark gefährdet war. Die neueren Feststellungen zeigen aber, daß bei genügender Überwachung des Generatorzustandes der

Röst durch die wesentlich höhere Strömungsgeschwindigkeit weniger in Gefahr kommt, weil er durch die entsprechend größeren Luftmengen auch mehr gekühlt wird. Die früher erwähnten (S. 122) Berechnungen von W. J. Müller und E. Graf<sup>1)</sup> gaben für die übliche Wassergasarbeit in einem 3,0-m-Dmr.-Wassergasgenerator bei einem Mengenverhältnis von 1 m<sup>3</sup> Wassergas ~ 1,9 m<sup>3</sup> Blasegas ~ 1,73 m<sup>3</sup> Wind eine sekundliche Windmenge von 5,8 m<sup>3</sup> an. Demgegenüber arbeiten z. B. neuzeitliche Demag-Hochleistungs-Wassergaserzeuger von 3,6 m Dmr. mit sekundlichen Windmengen von 35 m<sup>3</sup>. Die Dampf- und reaktionstechnisch ergeben sich hieraus weitere Änderungen in den Gasungsvorgängen. Das Heißblasen der Brennstofffüllung ist in viel kürzerer Zeit erreicht, andererseits erfolgt die Wärmeausnützung zur Wassergasbildung auch viel schneller, so daß sich gegenüber 3—5 min Periodendauer der früher beschriebenen automatischen Anlagen hier 1¼—1½ min Gesamtdauer ergeben, ebenfalls im Zeitverhältnis Blasen zu Gasen 1:2. Auch hier ist zu betonen, daß diese Reaktionen nicht nur nach ihrer Zeitdauer verglichen werden dürfen, sondern vielmehr mengenmäßig. Während bisher 1—1¾ min geblasen wurde, wird jetzt die größere Durchsatzmenge dieser Großgaserzeuger in ½ min durch die viel größere Windmenge so stark aufgeheizt, daß in der verhältnismäßig kurzen Gasezeit von etwa 1 min je Periode die früher nicht erreichbaren Tagesleistungen von über 200000 m<sup>3</sup> je Gaserzeuger hergestellt werden. Großgeneratoren von 3,2 bis 3,6 m Dmr. erzeugen täglich 160000 bis 240000 m<sup>3</sup>.

Die Periodenfolge ist, wie schon bei den automatischen Anlagen erwähnt, so geordnet, daß alle Arbeitsgänge und Gasungsrichtungen in einer regelmäßig wiederkehrenden Gasung zusammengefaßt sind. Z. B. verläuft an einer ausgeführten Großanlage (Demag) der Gang einer Gasung einschließlich der Brennstoffbeschickung etwa wie folgt:

Blasen 35"	0 s	Öffnen des Kaminschiebers,
	1 »	» » Windschiebers,
	2 »	» » Zweitwindschiebers,
	5 »	Schließen der Beschickglocke (Konus),
	10 »	Öffnen des Beschickschiebers (Vorbunker- auslauf),
	30 »	Schließen des Beschickschiebers (Vorbunker- auslauf),
	34 »	Schließen des Windschiebers,
	35 »	Schließen des Zweitwindschiebers und Öffnen des Dampfschiebers unten,

<sup>1)</sup> W. J. Müller u. E. Graf, Brennstoffchem. 20 (1939), S. 244.

Aufwärtsgasen 32"	}	36 s	Schließen des Kaminschiebers, Öffnen des Gasschiebers oben,
Abwärtsgasen 30"		68 »	Umschaltung der Gas- und Dampfschieber auf Abwärtsgasung,
		95 »	Öffnen der Beschickglocke (Brennstoffaufgabe),
Spülen 2"	}	98 »	Umschalten der Gas- und Dampfschieber auf Aufwärtsgasung (Spülen);
		100 »	Öffnen des Kaminschiebers, Schließen der Gas- und Dampfschieber.

Die Beschickung durch Einschleußen des Brennstoffs erfolgt nur in der Abwärtsgasung, um Verpuffungen durch Eintritt des mit dem Brennstoff ankommenden kleinen Luftpolsters in den heißen Gasstrom zu vermeiden. — Da meist ein möglichst stickstoffreies Wassergas verlangt wird, wird das Dampfventil unten bereits bei noch geöffnetem Kaminschieber aufgemacht, so daß eine Ausspülung des Blasegases aus Generator und Zündkammer schon vor dem Öffnen des Gasschiebers erfolgt. Um bei weitergehenden Anforderungen den Stickstoffgehalt noch weiter zu senken, wird in einigen Anlagen das erzeugte Wassergas noch zeitlich unterteilt abgeführt, indem das anfangs anfallende »Restgas«, das noch Blasegasreste enthalten kann, in Menge von etwa 20% abgesondert und die übrigen 80% als »Normalgas« oder »Nullgas« mit 0 bis höchstens 1,5% N<sub>2</sub> erhalten werden. Diese Trennung ist vor allem dann wichtig, wenn auch das Wassergas der Aufwärtsgasung durch den Abhitzekegel geschickt wird, wobei der Blasegasrest natürlich größer ist. — Bei Generatoren mit nassem Abschluß wird beim Abwärtsgasen der bei der starken Belastung auftretende größere Druckverlust in der Brennstoffsäule in der Weise ausgenützt, daß mit entsprechend höherem Dampfdruck von oben gegast und dadurch die hohe Temperaturlage oben besser ausgenützt wird.

Die obengenannten Zeit- und Leistungszahlen beziehen sich im wesentlichen auf den Durchsatz von Hochtemperaturkoks. Auch mit Steinkohlenschwelkoks werden Generatoren dieser Größe betrieben<sup>1)</sup>. Die infolge des niedrigeren Raumgewichtes etwas geringere Brennstofffüllung des Gaserzeugers und die größere Reaktionsfähigkeit des Brennstoffs verlangt kürzere Blasezeiten und ergibt etwas geringere Durchsatzleistungen.

### β) Sonderbauarten von Hochleistungs-Wassergaserzeugern.

Die Bauart der Großwassergaserzeuger entspricht im allgemeinen der beschriebenen automatischen Wassergasanlagen, zeigt aber bei den beiden meistvertretenen Formen (Demag, Pintsch) einige wesentliche

<sup>1)</sup> G. Wilke, Techn. Mitt. Krupp (1937), S. 44.

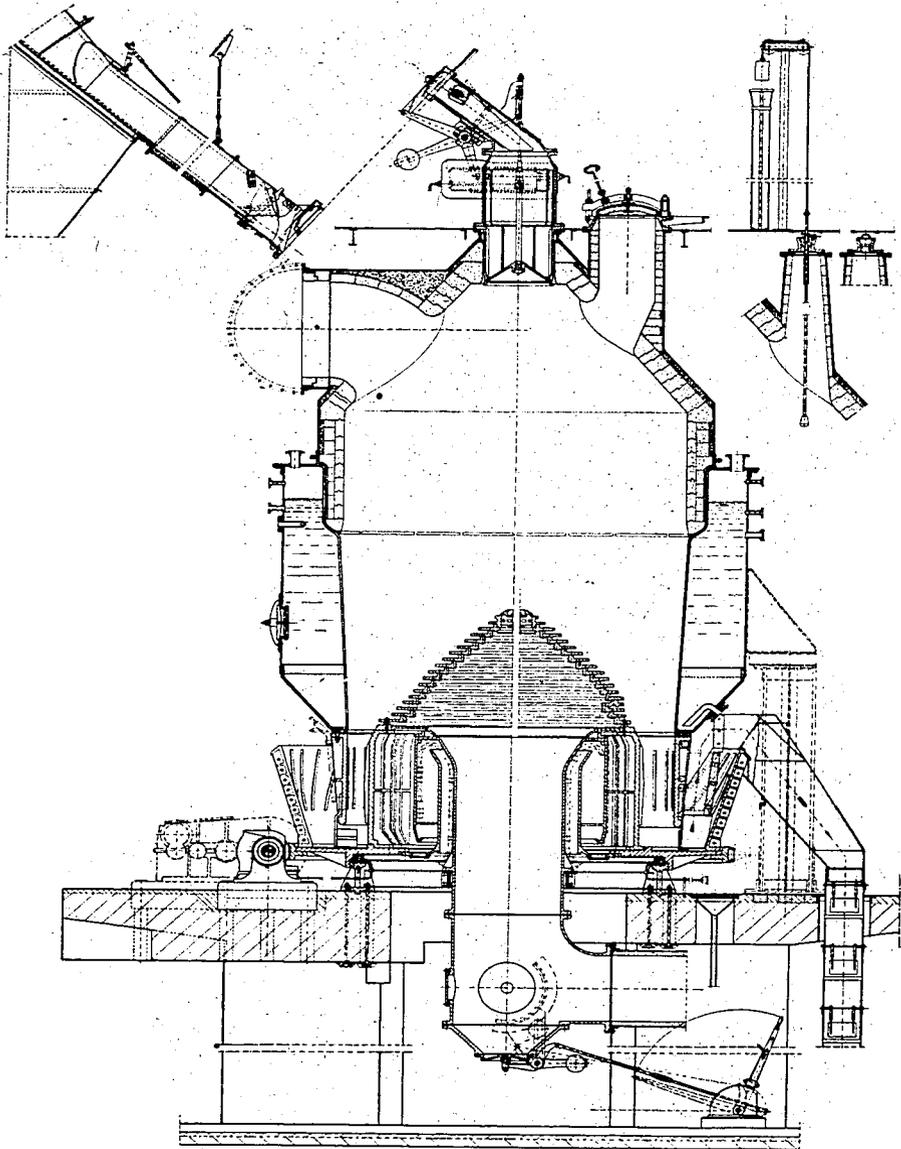


Abb. 121. Demag-Hochleistungs-Wassergasgenerator.

Unterschiede. Der Generatorschacht ist zylindrisch (Pintsch bis 3,6 m Dmr.) oder wird auch nach oben konisch erweitert, um bei ausreichendem Brennstoffvorrat den Rost und den Generatorunterteil nicht zu schwer zu machen (Demag, oben 3,8 m Dmr., unten 3,5 m). Ein Teil des Schachtes ist als Doppelmantelkessel ausgebildet, und zwar beim Demag-Großwassergaserzeuger über 2 m bis 2,4 m hoch (Abb. 121). Dagegen baut der Pintsch-Generator einen nur etwa 1 m hohen Mantelkessel, um dem Brennstoffbett möglichst wenig Wärme zu entziehen; dies erfordert besondere Überwachung der Reaktionszonenhöhe, um Wandverschlackung zu vermeiden, allerdings ist dieser niedrige Kessel auch durch die Sonderbauart des Rostes bedingt. Der Pintsch-Wassergasrost ist ein Planrost (Abb. 122), dessen Mittelteller mit den Luft- bzw. Dampf-

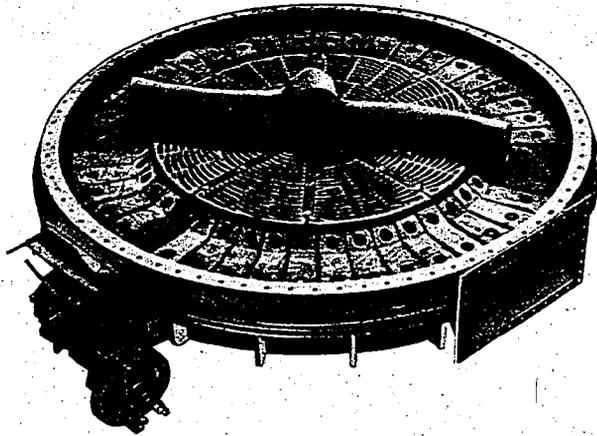


Abb. 122. Hochleistungs-Wassergasrost.

Eintrittöffnungen feststeht. Die Form dieser Öffnungen ist entgegen der Drehrichtung konisch erweitert, damit sie sich nicht zusetzen. Über diesem Planrost dreht ein propellerartiger, wassergekühlter Rührarm und fördert die Schlacke auf den äußeren, ebenfalls sich drehenden, mit Gußschutzplatten besetzten Ringteller, von dem sie beiderseits am Auslauf zu den Schlackentaschen durch eingebaute Abstreifer abgelenkt wird. Der Pintsch-Großwassergaserzeuger arbeitet also mit trockener Austragung, kann deshalb, zumal der Planrost eine besonders gleichmäßige Schichtbildung und dadurch sehr gleichmäßige Wind- und Dampfverteilung und hohe Dampfzersetzung für sich in Anspruch nimmt, sehr heiß fahren und die Schlacke ohne Gefährdung des Rostes nahe an die Schmelzgrenze bringen. Der heißere Gang bedingt natürlich höhere Blasegasabgänge.

Der Demag-Großwassergaserzeuger arbeitet nach dem System Humphreys und Glasgow mit nasser Austragung mit 950 mm Tauchung. Der auf dem Schüsselboden exzentrisch stehende Rost ist ein Kegel-Scheibenrost mit elliptischem Grundriß, der Kegel ist ebenfalls exzentrisch gerichtet, und zwar außer der Längsachse der Ellipse, der Rost-unterteil ist mit kleinen Rippen besetzt.

Zur Abhitzegegewinnung wird je Generator ein Abhitzekessel (Demag) oder ein Kessel je zwei Generatoren zusammengestellt (Pintsch).

Die Stochlöcher im Generatordeckel sollen bei dieser Betriebsart infolge des bewährten gleichmäßigen Ganges der Gaserzeuger zur Schlackarbeit nicht mehr erforderlich sein; sie werden nur noch angebracht, um nach den etwa einmal je Schicht mit Meßstange vorzunehmenden Feuerzonenmessungen die Rostdrehzahl anpassen zu können. Für diese Messung wird der Generator kurze Zeit stillgesetzt. Für die Betriebsüberwachung wichtig sind ständige Temperaturmessungen im Gasabgang oben und unten, in der Schlackenzone unten am Rost und in der Zündkammer, sowie Mengennmessung von Wind, Dampf und Gas.

Der Koksverbrauch der Großwassergaserzeuger liegt in den üblichen Grenzen, für Demag-Anlagen wird sogar ein Verbrauch von nur 0,59 bis 0,56 kg Koks/Nm<sup>3</sup> angegeben, der Dampfverbrauch mit 0,9 kg/Nm<sup>3</sup>. Die Dampferzeugung im Generatorkessel und Abhitzekessel ergibt, wie üblich, Dampfüberschuß.

In der Schachtbelastung übertreffen die Großwassergaserzeuger, entsprechend ihrer Gasleistung, die früher erwähnten Leistungen großer Wassergasgeneratoren (vgl. S. 148) bedeutend. Der Durchsatz beträgt über 500—600 kg/m<sup>2</sup>/h, für Pintsch-Wassergaserzeuger wird sogar ein Durchsatz bis etwa 650 kg/m<sup>2</sup>/h angegeben. Der obenerwähnte Einfluß der großen Leistung auf die Senkung der relativen Anlage- und Gesamtbetriebskosten wird durch diese Zahlen eindeutig bewiesen.

### 3. Anlagen für karburiertes Wassergas (Wechselbetrieb).

#### a) Grundlagen der Karburierung.

Die Karburierung des Wassergases hatte bei ihrer ersten Einführung in die Gasindustrie nicht nur den Zweck einer Heizwertsteigerung, um dieses Gas als vollwertigen Ersatz des Steinkohlengases zur Spitzendeckung verwenden zu können, sondern auch den, das Wassergas für den damaligen Bedarf der offen brennenden Leuchtgas-Schnittbrenner mit besonders gutem Leuchteffekt zu verwenden. Deshalb wurden die als Gasöle bezeichneten Karburieröle in besonderen Apparaturen nicht nur auf Siedeanalyse und Heizwert, sondern insbesondere auf die Leuchtkraft des durch Probevergasung erhaltenen Ölgases untersucht. Solche Untersuchungsverfahren wurden ausgeführt in dem mit einer Versuchs-kleinretorte ausgestatteten Apparat von Wernecke; eine neuere Form

ist die Apparatur von L. Ubbelode und Philippide<sup>1)</sup>. Hempel beurteilte Karburieröle nach der »Effektzahl«<sup>2)</sup>, das ist das Produkt aus Gasausbeute mal oberem Heizwert.

Zunächst wurden natürlich nur die bestgeeigneten Karburieröle bevorzugt. In Deutschland trat allerdings diese sehr teure Arbeitsweise allmählich zurück, zumal seit der Einführung des Auerschen Glühlichtes die Leuchtkraft des Gases an Wichtigkeit verlor. Zur Beimischung zum Kohlendgas genügte auch das blaue Wassergas.

Im Ausland war die Entwicklung zum Teil anders geartet. So legte die Schweiz großen Wert auf die Karburierung, weil die dortige Gasnorm einen oberen Heizwert von 5000 kcal/Nm<sup>3</sup> forderte und deshalb nur ein heizwertreicheres Zusatzgas in Frage kommen konnte<sup>3)</sup>. — In mineralölreichen Ländern, wie Amerika, ist der umfangreichere Gebrauch der Karburierung wirtschaftlich bedingt, weil geeignete Öle besonders in der Nähe der Gewinnung sehr preiswert zu erhalten sind. So werden nach einer von R. Mezger gegebenen Statistik<sup>4)</sup> in den Vereinigten Staaten für die öffentliche Gasversorgung nur etwa 45% Kohlendestillationsgase und 10% Naturgas verwendet, gegenüber 42% ölkarburierem Wassergas und geringen Anteilen anderer Ölgase u. dgl. In diesen und anderen Ländern wird deshalb die Ölkarburierung ihre Bedeutung auch weiterhin behalten.

In Deutschland wurde aber mit der Abkehr von der zu teuren Ölkarburierung diese Erzeugungsart nicht vollständig aufgegeben, vielmehr wandte sich das Interesse vielfachen Versuchen zur Verwendung billigerer heimischer Karburiermittel zu.

#### b) Hilfsstoffe der Karburierung.

Über neuere systematische Versuche<sup>5)</sup> der Bewertung von Gas- oder Karburierölen berichtet R. Heinze<sup>6)</sup>. Geprüft wurden die Beziehungen der obenerwähnten Hempelschen Effektzahl, des Heizwertes, der Gasmenge, der Reaktionstemperatur und der Ölmenge. Als günstigste Zersetzungstemperatur ergab sich 700—750°; besonderer Wert ist auf genau angepaßte, nicht zu reichliche Ölzufuhr und gute Ölerstäubung zu legen. In einer Laboratoriums-Prüfapparatur wurden jeweils 15 g Öl je h bei 700—750° in einem Wasserstoffstrom zersetzt und außerdem noch Siedeanalyse, Raumgewicht, H<sub>2</sub>-Gehalt und Brechungsexponent des verwendeten Öles bestimmt. Gute Karburieröle sollen möglichst erst über 250° sieden und keine Asphaltstoffe enthalten, jedoch werden

<sup>1)</sup> Holde, Kohlenwasserstofföle u. Fette, Berlin 1924.

<sup>2)</sup> W. Hempel, Gas- u. Wasserfach 53 (1910), S. 53, 77, 101.

<sup>3)</sup> R. Heinze, Z. VDI 80 (1936), S. 152.

<sup>4)</sup> R. Mezger, Z. VDI 81 (1937), S. 105.

<sup>5)</sup> P. Schläpfer, Eidg. Mat.-Pr.-Anst. Zürich (1934), Ber. 68.

<sup>6)</sup> R. Heinze, Z. VDI 80 (1936), S. 152.

Öle mit mehr als 50% unter 300° als nicht geeignet angegeben, weil die niedrigsiedenden Bestandteile bei größerer Menge, also relativ geringerer Berührungszeit, sich der Wärmespaltung im Karburator leicht entziehen. — Die Untersuchung der Spalterzeugnisse mehrerer Karburieröle zeigte, daß der Unterschied weniger in deren Verschiedenheit, als vielmehr in der Gasausbeute und Gasanalyse liegt. Die Wasserstoffanlagerung erfolgt vorwiegend an hochmolekulare Spalterzeugnisse. Als Formel für die Gasölbewertung wird eine »Bewertungszahl« entwickelt:

$$B = \frac{K \cdot \text{Gew.}\% \text{ H}_2}{G}$$

worin  $K$  die Ostwaldsche Kennziffer, bei 10-mm-Hg-Druck bestimmt,  $G$  das Raumbgewicht bei 20° bedeuten.

Nach Holde<sup>1)</sup> sollen Karburieröle ein Dichteverhältnis von etwa 0,890 (0,875—0,900) haben und von 200 bis 400° sieden. Je kg Öl dieser Art wird eine Ausbeute von 500 bis 600 l Gas, 300 bis 400 g Teer und 40 bis 60 g Koks angegeben. — Über die Beziehung des Ölverbrauches zum erreichten Heizwert gibt Abb. 123 die mit gutem Gasöl erhaltene Größenordnung.

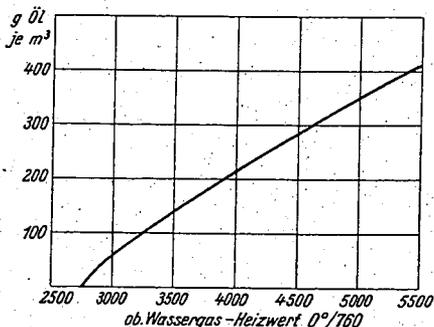


Abb. 123.

Ölverbrauch und Heizwert von karburiertem Wassergas (mit Gasöl 11—12 000 kcal/kg).

Gegenüber diesen besonders für Deutschland nicht mehr in Frage kommenden Karburierölen wurde hier den sonstigen Karburiermitteln vielseitige Beachtung geschenkt und ihre Eignung in verschiedensten Laboratoriums- und Betriebsversuchen geprüft. Wie schon bei der Teerkarburierung in der Vertikalkammer erwähnt wurde<sup>2)</sup>, ist der Steinkohlenteer für thermische Umlagerungen der C-H-Verbindungen weniger geeignet, weil der Sauerstoffgehalt den verfügbaren Wasserstoff sofort weitgehend bindet. Der Steinkohlenteer liefert deshalb wenig Gas und viel wärmebeständige, also wieder als Teer anfallende Kohlenwasserstoffe.

Wertvolle Aufschlüsse über die Ursachen des verschiedenen Verhaltens von Braunkohlenschwelteeren, Braunkohlengeneratorsteeren und Steinkohlenteeren geben die Arbeiten von E. Czako<sup>3)</sup>. Neben der Siedeanalyse des Karburiermittels wurde die Untersuchung auf die Kohlenwasserstoffgruppen der Paraffine, Olefine, Kreosote, Naphthaline und auf die benzinunlöslichen Asphalte und den benzolunlöslichen freien Kohlenstoff ausgedehnt; ferner wurden Karburiermittel und daraus

<sup>1)</sup> Holde, Kohlenwasserstofföle u. Fette, Berlin 1924.

<sup>2)</sup> Handb. d. Gasind. I, 5, S. 76.

<sup>3)</sup> E. Czako, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 450.

anfallender Wassergasteer im vorstehenden Sinne parallel untersucht. Die Vergleiche erwiesen eindeutig den »sekundären Charakter« der Wassergas- und Steinkohlenteere. Bei letzteren sind je nach dem Ofensystem auch Teere vorhanden, die sich dem primären Charakter des Schwelteeres nähern, so bei den Vertikalretorten und besonders bei den senkrechten Öfen mit wandernder Ladung. Dennoch ist bei den Steinkohlenteeren allgemein der Gehalt an Kohlenstoff und Asphalt einerseits und an Naphthalin andererseits so hoch, daß ihre geringe Eignung bzw. ihre geringe Heizwertausbeute in Gasform nicht überraschen kann.

Zusammenfassend ist also festzustellen, daß nur Braunkohlenschwelteere, besser noch Braunkohlenteeröle, mit wirtschaftlichem Erfolg als Karburiermittel an Stelle von Gasöl angewandt werden könnten. Für Deutschland ist aber in neuerer Zeit auch deren Verbrauch nicht angebracht und zulässig, weil sie als Rohstoffe für andere Zwecke wertvoller und volkswirtschaftlich wichtiger sind.

Die früher vereinzelt gebrauchte Benzolkarburierung von Wassergas, für die das vorgewärmte Benzol in das Gas eingenebelt wurde, erreichte nur einen Heizwert von  $3750 \text{ kcal/m}^3$  und ist ebenfalls aus Rohstoffgründen nicht mehr in Gebrauch.

#### c) Anlagen für karburiertes Wassergas mit zusätzlichen Karburierapparaten.

##### *α) Bauart und Betriebsweise von Wassergaskarburieranlagen.*

Anlagen für karburiertes Wassergas enthalten außer den vorerwähnten, für Blauwassergasanlagen notwendigen Apparaturen und Einrichtungen vor allem den Karburator. Dieser ist ähnlich der oben beschriebenen Zündkammer als ausgemauerter Blechzylinder mit einem Einbau von feuerfestem Steingitterwerk ausgebildet. Der Karburator steht zwischen dem Gaserzeuger und dem Überhitzer (Zündkammer). Abb. 124 zeigt die Gesamtanordnung einer Wassergasanlage mit Karburierung. In der Blasezeit wird der Karburator in erster Linie aufgeheizt und erhält, wie der Überhitzer, einen Zweitwindzusatz zur Nachverbrennung des Blasegases. Da aber außer dieser Nachverbrennung im Karburator noch Umsetzungen des Kohlendioxyds des Blasegases mit den glühenden Ölkoksansätzen von den vorhergehenden Karburierperioden stattfinden, somit am Ausgang des Karburators noch CO vorhanden ist, wird dem Gas beim Eingang in den Überhitzer nochmals Zusatzluft gegeben (Tertiärluft oder Drittluft), mit der alle brennbaren Gasreste verbrennen. Das Blasegas geht darauf durch den Abhitzekessel. — Ist so durch das Heißblasen die Generatorfüllung, der Karburator und die Zündkammer aufgeheizt, so wird bei der nun folgenden Aufwärtsgasung im Karburatoroberteil, also beim Wassergaseintritt, Öl in den Gasstrom eingenebelt oder auf das hochehitze Gitterwerk geträufelt. Die Öldämpfe werden vom

Gasstrom aufgenommen und durch weitere Berührung mit dem heißen Gitterwerk thermisch zersetzt, also so weitgehend in beständige Gasform übergeführt, als dies bei dem betr. Karburiermittel möglich ist. Vom Überhitzer aus wird das karburierte Wassergas grundsätzlich nicht durch den Abhitzekegel geleitet. Abgesehen von den auch bei

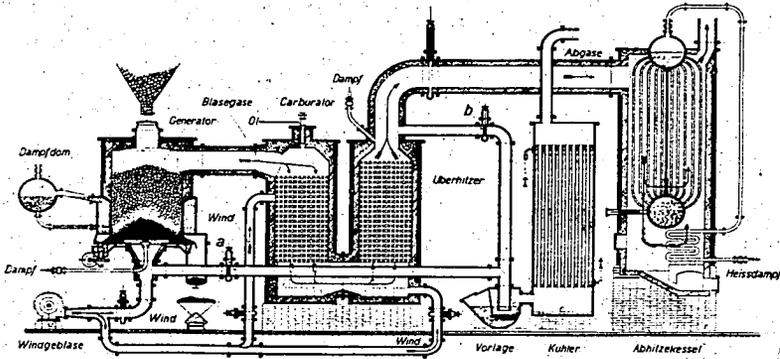


Abb. 124. Schema einer Wassergas-Karburiéranlage mit Abhitzegewinnung.

Blauwassergas geltenden Gründen (S. 143) besteht bei karburiertem Wassergas vor allem die Gefahr, daß die Kesselrohre sich mit Ölteerkrusten belegen, die den Wärmeübergang hindern und schwer zu entfernen sind. Das karburierte Gas wird vielmehr vom Überhitzer aus durch eine Teervorlage, die auch berieselt werden kann, zu einem Wasserkühler und zur Verwendungsstelle oder zum Gasbehälter geführt.

Für die im allgemeinen auch nach je zwei Aufwärtsgasungen ange-setzte Abwärtsgasung ist der untere Gasabgang meist nicht, wie in Abb. 124 gezeigt, mit der Vorlage, sondern mit dem Eingang des Karburators verbunden und das Wassergas der Abwärtsgasung kann dann genau so mit Öl beladen werden wie bei den Abwärtsgasungen, mit dem einzigen Unterschied, daß dieses Gas der Abwärtsgasung nicht so heiß zum Karburator kommt wie bei der Aufwärtsgasung und deshalb im Karburator erst miterhitzt werden muß. Trotzdem ist aber der Wärmetransport in diese Gittersteinspeicher zumeist größer als der Wärmeverbrauch, so daß auf die Dauer gewisse Wärmemengen dem Generatorprozeß entzogen und im Abhitzekegel gastechnisch nicht vollwertig ausgenutzt werden.

Diesen Nachteil sucht der in Amerika patentierte, sog. »Bac run«-Prozeß (Rückstromverfahren) zu vermeiden. Nach diesem wird zur Abwärtsgasung der Dampf am Ausgang des Überhitzers eingeführt (Abb. 124), er durchstreicht den Überhitzer und den Karburator und fördert einen Teil der dortigen Wärmespeicherung zum eigentlichen

Gaserzeugerprozeß zurück. Öl wird bei diesem Gang nicht zugesetzt, weil der Weg und damit die Reaktionszeit für genügende Aufspaltung zu kurz wäre. Dagegen nimmt das Verfahren als Vorteil in Anspruch, daß durch die bessere Wärmeausnutzung im Gaserzeuger dessen Durchsatz erhöht und der Koksverbrauch vermindert; ferner die kalorische Ausnutzung des Karburieröls gebessert wird. — Als Nachteile des Bac run nennt R. Mezger<sup>1)</sup> auf Grund ausländischer Literaturangaben neben einigen untergeordneten Begleiterscheinungen vor allem den Verlust des Dampfes, der am Ende jeder Bac run-Periode den Karburator und Überhitzer füllt, den Wegfall der Ölkarburierung in  $\frac{1}{3}$  der Gasezeiten und den Wärmeverlust im Überhitzer und Karburator, der zwar dem Gaserzeuger zufließt, aber dafür in der Blasegaswärme und im Wärmeverrat für die Wärmespaltung und für die doch auch dem Gesamtprozeß zugutekommende Dampferzeugung fehlt. Vergleichsversuche einer Anlage in Nine-Elms mit und ohne Bac run ergaben ohne Bac run eine etwas größere Ölaufnahme und stärkere Verdampfung, mit Bac run einen etwas geringeren spezifischen Koksverbrauch; es finden also sowohl Gründe für wie gegen das Verfahren, eine Bestätigung und die Entscheidung dürfte von Fall zu Fall nach den örtlichen Bedingungen zu treffen sein.

Die Gaseperiodenfolge der handbedienten Wassergasanlagen mit Karburierung ist im wesentlichen dieselbe wie bei den entsprechenden Blauwassergasanlagen. Bei den automatischen Anlagen mit Karburierung ist entweder die Gasungsfolge der automatischen Blauwassergasanlagen üblich, z. B.

Blasen . . . . .	1 min 40 s
Gasen von unten . . . . .	1 » 40 »
Gasen von oben . . . . .	40 »
Spülen . . . . .	10 »

oder bei Anwendung des Bac run:

Blasen . . . . .	1 min 50 s
Gasen von unten . . . . .	1 » 30 »
Bac run . . . . .	1 »
Spülen . . . . .	10 »

### *β) Leistung und Gasbeschaffenheit von Karburieranlagen.*

Da Karburieranlagen in Deutschland z. Z. kaum noch in Betrieb sind, fehlen neuere Betriebsdaten in der Literatur. Nach ausländischen Betriebsversuchen (Schweiz) wurde in einer Anlage mit Dampfmantelgenerator 2,1 m Dmr. und Abhitzeessel ermittelt:

<sup>1)</sup> Nübling u. R. Mezger, Gas- u. Wasserfach **70** (1927), S. 1146.

Zahlentafel 7.  
Leistungen von Wassergaskarburieranlagen.

Oberer Heizwert kcal/Nm <sup>3</sup>	3500	3860
Durchsatz kg/m <sup>2</sup> /h	175	195
m <sup>3</sup> Gas/kg Koks	1,60	1,53
kg Koks/m <sup>3</sup> Gas	0,63	0,65
kg Öl/m <sup>3</sup> Gas	0,17	0,19
kg Dampf/m <sup>3</sup> Gas	0,64	0,61
kg Kühlwasser/m <sup>3</sup> Gas	1,84	2,14
Dampfverbrauch kg/m <sup>3</sup> Gas	0,64	0,61
Dampferzeugung		
im Generatorkessel kg/m <sup>3</sup> Gas	0,65	0,59
im Abhitzeessel kg/m <sup>3</sup> Gas	0,82	0,76
insgesamt kg/m <sup>3</sup> Gas	1,47	1,35

Die Gaszusammensetzung ist entsprechend den Heizwerten verschieden. Für mit Gasöl hochkarburierte Wassergase werden z. B. von französischen und englischen Anlagen angegeben:

Zahlentafel 8.  
Karburierte Wassergase.

Oberer Heizwert kcal/Nm <sup>3</sup>	5000	4500
% CO <sub>2</sub>	3,5	5,2
% O <sub>2</sub>	0,5	—
% CO	30,0	33,6
% C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	8,0	7,3
% CH <sub>4</sub>	16,0	9,9
% H <sub>2</sub>	36,0	38,5
% N <sub>2</sub>	6,0	5,5

Teerölkarburierung ergibt mehr Methan und weniger schwere Kohlenwasserstoffe.

Ein Beispiel der Wärmebilanz einer Gasöl-Wassergaskarburierung mit Dampfgewinnung im Mantelkessel und im Blasegasabhitzeessel gibt Abb. 125.

d) Wassergasanlagen für Karburierung im Generator.

Die ersten Versuche, das Wassergas zu karburieren, wurden von Lowe 1872—75 unternommen<sup>1)</sup>, und zwar brachte er das Karburierungsmittel unmittelbar in den Gaserzeuger ein. Allerdings verwandte

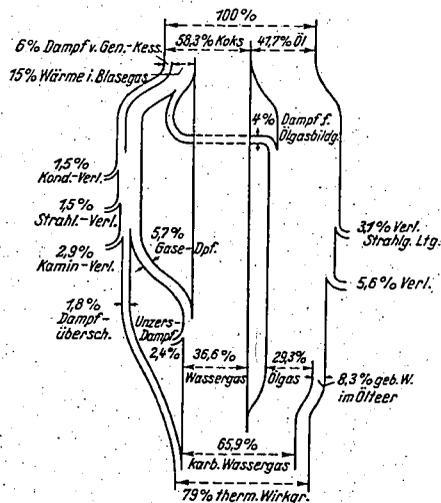


Abb. 125. Wärmefluß einer Wassergasanlage mit Ölkarburierung.

<sup>1)</sup> E. Czako, Gas- u. Wasserfach 75. (1932), S. 448.

er dabei bereits einen zusätzlichen Apparat, den Überhitzer, der einerseits beim Aufwärtsgasen die aus dem Gaserzeuger herausgetragenen Ölbestandteile weiter verkracken helfen sollte, andererseits den Dampf für die Abwärtsgasung vor Eintritt in den Generator überhitzte, zwecks möglichst weitgehender Ölsplattung.

Mancherlei spätere Versuche einer Karburierung im Generator scheiterten daran, daß entweder die Umsetzung infolge zu geringer Temperatur und Berührungszeit unvollkommen blieb, oder daß in höheren Temperaturanlagen der Brennstoff graphitisiert wurde und an Reaktionsfähigkeit verlor.

Trotzdem wurde dieses Arbeitsprinzip immer wieder versucht und insbesondere richteten sich die Versuche darauf, an Stelle ausländischer Gasöle für die Karburierung geeignete heimische Karburiermittel zu verwenden. Dieses Ziel wurde erstmalig in betriebssicherer und wirtschaftlich arbeitender Ausführung erreicht in dem Frankfurter Krack-Generator nach R. Schumacher<sup>1)</sup>. Das Verfahren geht einerseits von dem Grundsatz aus, daß die Heizwertaufnahme durch das Wassergas »in statu nascendi« erleichtert ist, daß infolgedessen auch solche Karburiermittel einen Erfolg versprechen, die bei der sonst üblichen Arbeitsweise keine wirtschaftliche Gasaufwertung ergeben. Andererseits sucht es, da bei den Karburieranlagen mit zusätzlichen Apparaten die unvermeidbare Kohlenstoffabscheidung bisweilen zu apparativen Störungen führte, eine grundsätzliche Änderung im Aufbau der Apparatur. Beide Absichten sind vereinigt in dem Verzicht auf nachgeordnete Ölverdampfer und Überhitzer und in der Einführung des Karburiermittels unmittelbar in die Nähe der Wassergasbildung.

Der Frankfurter Krack-Generator ist ein Doppelschachtgenerator von 2 m Dmr., der aus zwei übereinanderstehenden Schachthälften besteht, zwischen diesen befindet sich etwa in halber Höhe eine Einschnürung (Abb. 126).

Die Einschnürung hat den Zweck, durch den Böschungswinkel der in den Unterteil absinkenden Füllung einen Ringkanal zu bilden, in den das Karburiermittel durch Dampfinjektordüsen eingebracht wird. Der Unterschacht ist der eigentliche Wassergasgenerator, der in üblicher Weise betrieben wird: Heißblasen von unten, Blasegasabgang oben aus dem Oberschacht; Gasen von unten mit Gasabführung oben, bzw. intermittierend (jede 3. Gasung) Gasen von oben mit Oberdampf und Gasabgang unten. Das Karburiermittel wird während der Aufwärtsgasung mit Dampf eingeblasen und erleidet eine teilweise Zersetzung bereits in dem glühenden Ringkanal. Die gebildeten Gase und restlichen Teernebel werden vom heißen Wassergasstrom durch die aufgeheizte Koksfüllung des Oberschachtes geführt, die das Gitterwerk des Verdampfers oder

<sup>1)</sup> DRPP. 413 741, 479 029, 499 673, 505 389, 533 503.

Überhitzers ersetzt und die weitere Verkrackung des Karburiermittels bewirkt. Die, wie erwähnt, bei den teerartigen Karburiermitteln höheren Kohlenstoffabscheidungen wandern mit dem Koks in den Vergasungsschacht und werden, soweit sie nicht auf diesem Wege bereits vom Wind

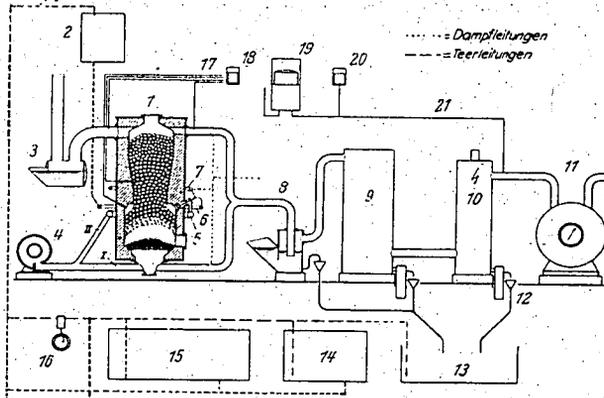


Abb. 126. Frankfurter Crack-Generator.

- |                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 Generator                    | 12 Teerabflüsse               |
| 2 Schmelteerbehälter           | 13 Wassergasteer-Abfallgrube  |
| 3 Flugkoksvorlage für Blasegas | 14 Wassergas-Klärgrube        |
| 4 Gebläse für Wind I und II    | 15 Schmelteer-Vorratsbehälter |
| 5 Zweitluft-Ringleitung        | 16 Teerpumpe                  |
| 6 Schmelteer-Ringleitung       | 17 Thermoclement-Meßleitungen |
| 7 Zerstäuberndampf-Ringleitung | 18 Temperaturschreiber        |
| 8 Rohgasvorlage                | 19 Probegasbehälter           |
| 9 Kühler                       | 20 Heizwertschreiber          |
| 10 Elektro-Teerseider          | 21 Reingas-Probenahme         |
| 11 Erzeugungsgasmessung        |                               |

oder Abwärtsdampf aufgezehrt wurden, im Unterschacht mit in Wassergas umgesetzt.

Da für die Abwicklung der Crackvorgänge in einer Karburieranlage einerseits die Strömungsgeschwindigkeit der Gase bzw. Gasölnebelgemische, andererseits deren Berührungsdauer an dem heißen Gitterwerk maßgebend sind, mußte der Frankfurter Crack-Generator mit seiner Koksfüllung rechnerisch verglichen werden mit einer üblichen Karburieranlage mit Verdampfer und Überhitzer. Der Vergleich wurde<sup>1)</sup> auf gleiche Betriebsumstände, also auf gleiche Leistungen bezogen und zeigte beim Crack-Generator wesentlich kürzere Berührungszeiten. Da jedoch die Umsetzung des Karburiermittels ebenso weitgehend erfolgte, wie sie im nebengebauten Karburator erreicht wird, ist dadurch erwiesen, daß die glühende Koksfüllung mit ihrer größeren Oberfläche einen günstigeren Reaktionsverlauf bewirkt.

Der Versuchsbetrieb in dem handgeschlackten Crack-Generator wurde als Dauerbetrieb mit Braunkohlenschmelteer als Karburiermittel

<sup>1)</sup> E. Czako, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 445.

durchgeführt, und zwar wurde nach folgendem, der Arbeitsweise der automatischen Anlagen ähnlichen Zeitplan gearbeitet:

- 1¼ min Blasen zum Aufheizen von Ringkanal und Oberschacht,
- 2½ » Aufwärtsgasen mit 2 min Teereinführung,
- ¾ » Abwärtsgasen ohne Teer,
- ¼ » Aufwärtsspülgasen.

Die Temperaturkontrolle, die für gleichmäßigen Betrieb besonders wichtig ist, ergab die Werte:

Blasezeit: Ringkanal . . . . .	etwa 710°
—       Oberschacht . . . . .	» 630°
Blasegasabgang . . . . .	» 420°
Gasezeit: Ringkanal . . . . .	» 700°
Oberschacht . . . . .	» 620°
Gasabgang . . . . .	» 460°
Schwelteer vor den Düsen . . . . .	» 50°

Die Gasdrücke betragen	beim Blasen	beim Gasen
im Generator unten . . . . .	620 mm	615 mm WS
im Ringkanal . . . . .	400 »	605 » »
im Generator oben . . . . .	35 »	550 » »

Alle Teerbehälter und -leitungen sind dampfbeheizt.

Die Betriebsergebnisse (auf Vm<sup>3</sup> bezogen) waren folgende:

Stundenleistung d. 2-m-Dmr.-Generators	900 m <sup>3</sup> /h Gaserzeugung
»       »       »       »	166 kg/m <sup>3</sup> /h Koksübersatz
Koksverbrauch . . . . .	0,57 kg/m <sup>3</sup>
Gaserzeugung (1000 kcal/Nm <sup>3</sup> ) . . . . .	1,75 m <sup>3</sup> /kg Koks
Verbrauch an Braunkohlenschwelteer . . . . .	0,26 kg/m <sup>3</sup>
Dampfverbrauch für den Generator . . . . .	0,65 kg/m <sup>3</sup>
Wassergasteeranfall . . . . .	18,5% des Schwelteeres.

Abb. 127 gibt eine Übersicht über den Wärmefluß des Crack-Generators. Die Gasuntersuchung dieses teer-karburiierten Wassergases zeigte:

CO <sub>2</sub> . . . . .	3,6%	
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> . . . . .	4,2%	
O <sub>2</sub> . . . . .	0,4%	ob. Heizwert . . . 4100—4200 kcal/Nm <sup>3</sup>
CO . . . . .	36,4%	Dichteverhältnis 0,59 (Luft = 1)
H <sub>2</sub> . . . . .	44,7%	Luftbedarf . . . 3,56fach
CH <sub>4</sub> . . . . .	6,9%	
N <sub>2</sub> . . . . .	3,8%	

Die Flammentemperatur ist der des Norm-Stadtgases praktisch gleich. Die Zündgeschwindigkeit weicht allerdings in Verlauf und Maximum von der Stadtgaskurve ab, so daß TK-Wassergas (Teerkohlen-

wasserstoffwassergas) nicht ohne weiteres in für Stadtgas eingestellten Brennern arbeiten kann. Ursache sind die durch das höhere Wichte- verhältnis veränderten Strömungsverhältnisse. Da jedoch TK-Wasser- gas nur als Zusatzgas, insbesondere für Spitzenleistung, in Frage kommt, ist diese Abweichung praktisch ohne Bedeutung; nach eingehenden Ver- suchen mit bis zu 40—50% TK-Wasser- gas wirkt sie sich im Stadtgas-Misch- gas nicht erkennbar aus.

Hinsichtlich der Vergasungsroh- stoffe für den Frankfurter Crack- Generator ist weiter zu bemerken: Als Koksfüllung dient üblicher Koks 60/90 und 40/60 mm. Über die Eignung der Karburiermittel wurden sehr einge- hende Vergleichsversuche angestellt, deren Ergebnisse wegen der speziellen Arbeitsbedingungen nicht ohne weiteres mit denen in anderen Karburieranlagen vergleichbar sind, aber interessante Aufschlüsse geben. Aus dem vielsei- tigen, von E. Czako<sup>1)</sup> gebrachten Zahlen- material sind die in Zahlentafel 9 zusammengestellten Werte hervorzu- heben:

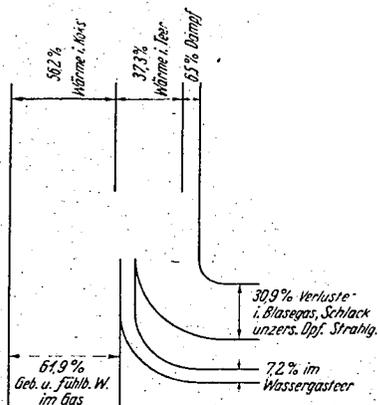


Abb. 127. Wärmestrombild des Frankfurter Crackgenerators.

### Zahlentafel 9. Teerkohlenwasserstoff-Wassergase.

Betriebszahlen	Braunkohlen-			Karbu- rieröl	Steinkohlen-	
	Gene- ratoren- teer	Schwelteer			Vert.- Karn- mersteer	Kreo- sotöl
H <sub>2</sub> des karburierten Gases	4100	4200	4500	4100	3700	3800
Teerverbrauch g/V m <sup>3</sup>	290	260	361	230	320	390
Teerverbrauch g/1000 kcal im carb. Gas	76	66	86	60	93	110
Teerverbrauch g/1000 kcal Heizwerterhö- hung über 2750 kcal Wassergasheizwert	215	180	205	170	335	370

Der spezifische Verbrauch in g/1000 kcal im Gas zeigt beim Braun- kohlen-*schwelteer* einen Bestwert bei dem Gasheizwert 4200. Ein höherer Heizwert ist erreichbar, aber nur mit unverhältnismäßigem Aufwand an *Schwelteer*. Das *Karburieröl*, ein bereits veredeltes *Schwelteererzeugnis*, gibt die günstigste Ausbeute. Dagegen ist bei dem *Steinkohlenteer* bzw. *Teeröl* der spezifische Verbrauch wesentlich höher, ohne daß dadurch ein gleich hoher Heizwert erreicht werden kann.

<sup>1)</sup> E. Czako, Gas- u. Wasserfach 75 (1932), S. 450.

Die Werte der letzten Zeile der Zahlentafel geben einen Anhaltspunkt zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Karburierens in Abhängigkeit von dem örtlichen Preis des betr. Karburiermittels. Es hat auch Fälle gegeben, in denen dieser Preis sehr niedrig eingesetzt werden konnte, weil die Vernichtung des Teeres wichtiger war, als sein Erlös.

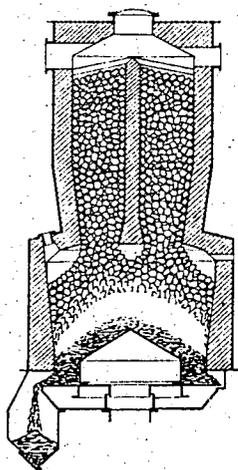


Abb. 128. Frankfurter Krackgenerator, neuere Bauart.

Eine neuere, verbesserte Bauform des Frankfurter Krack-Generators unterteilt durch einige radiale Trennwände im Oberschacht, z. B. durch einen kreuzförmigen Einbau, die absinkende Koksäule in 4 getrennte, erst im Unterschacht zusammenfließende Säulen (Abb. 128). Der Vorteil dieser Ausführung liegt darin, daß die im Oberschacht absinkende Brennstoffschüttung ohne Entmischung gleichmäßig in den Wassergasschacht gelangt und dadurch vermieden wird, daß sich infolge Verlagerung oder Bildung durchlässigerer Randzonen unerwünschte Gaswege bilden, die den für den Gesamterfolg entscheidend wichtigen gleichmäßigen Verlauf der Umsetzung stören.

Die Erzeugungskosten für dieses TK-Wassergas werden von Czako auf Grund des tatsächlich ermittelten Dauerbetriebsaufwandes und einer Umrechnung auf andere Generatorleistungen mit 3,6–3,3 Pf./m<sup>3</sup> angegeben. Außerdem bringt Czako (a. a. O.) übersichtliche Kurvendarstellungen des Einflusses verschiedener Leistungen und des Ein-

flusses verschiedener Koks- und Teerpreise auf den Gasgestehungspreis. — Über weitere Betriebsergebnisse an einem Krack-Generator neuerer Bauart berichtet T. Payer<sup>1)</sup>.

Der Frankfurter Krack-Generator stellt also, wenn auch die Frage der Braunkohlenschwelterverwendung an sich zeitlich verschieden beurteilt werden kann, einen erfolgreichen Weg der Wassergaskarburierung mit heimischen Karburiermitteln dar.

#### 4. Wassergaserzeugung im ununterbrochenen Betrieb (Fließerzeugung).

Die Heißblaseperiode des Wechselbetriebes ist notwendig, um den Wärmebedarf der Wassergasreaktion in der Brennstofffüllung aufzuspeichern. Diese aufgespeicherte Wärme läßt aber keine gleichmäßige und gleichartig bleibende Gaserzeugung zu, sondern zwingt den Betrieb, sich der abnehmenden Temperaturlage anzupassen. Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, unter Vermeidung der zusätzlichen Wechselapparaturs den Wärmebedarf der Wassergaserzeugung durch anders-

<sup>1)</sup> Th. Payer, Gas- u. Wasserfach 78 (1934), S. 339.

geartete, gleichmäßige Wärmezufuhr zu decken. Es wurde sowohl Außenbeheizung wie Innenbeheizung des Brennstoffbettes ausgeführt. Zur Wassergaserzeugung mit Aussenbeheizung ist der Naßbetrieb der Vertikalöfen zu erwähnen, über dessen betriebsmäßige Ausführungen bereits in diesem Handbuch berichtet wurde<sup>1)</sup>, sowie dieselbe Arbeitsweise bei den Horizontalöfen. — Wegen der Schwierigkeit ausreichender Wärmezufuhr durch die gemauerten Wände wurde mehrfach versucht<sup>2)</sup>, Wassergas in Apparaten aus hitzebeständigem Stahl zu erzeugen, deren außenbeheizte Heizflächen in Röhrenform aufgelöst waren. Im Großbetrieb haben sich diese Verfahren aber nicht einführen können. Dagegen sind zu großtechnischer Bedeutung die verschiedenen Arbeitsweisen mit unmittelbarer Innenbeheizung des Brennstoffbettes gelangt. Diese erfolgt entweder durch Sauerstoffzufuhr, also ständige Verbrennung ohne den Stickstoffballast des Heißblase-Windes, oder durch Wälzgasbeheizung. Einzelheiten hierüber siehe im nachfolgenden Abschnitt unter Synthesegase.

#### 5. Wassergaserzeugung mit elektrischer Innenheizung.

Eine unmittelbare Innenbeheizung des ununterbrochen arbeitenden Wassergasprozesses ist weiter durch Zufuhr von Elektrowärme möglich. Natürlich kommt diese Ausführungsform nur für Länder oder Verbrauchsstellen in Frage, die über große Mengen besonders billigen Stromes verfügen. Diese Voraussetzung trifft z. B. für Norwegen zu, wo von der Elektrochemisch Industri Oslo schon um 1930 ein elektrisch beheizter Anthrazitwassergasgenerator entwickelt wurde und sehr gute Bewährung im Betrieb fand<sup>3)</sup>.

Der Gaserzeuger, Hohl-Generator genannt (Abb. 129), besteht aus einem feuerfest ausgemauerten, zylindrischen Schacht mit Brennstoffzufuhr durch einen oben seitlich aufgebauten Füllaufsatz mit Doppelverschluß. Die Brennstoffsäule ruht auf einem flachen Rost, der gedreht und gerüttelt werden kann, die durchfallende Schlacke wird in größeren Zeitabständen aus dem Unterteil entfernt. Die Wärmezufuhr erfolgt durch Kohleelektroden, von denen vier Stück über dem Rost in Höhe der Reaktionszone eingeführt sind und eine oder zwei durch die Mitte des Deckels abwärts in den Brennstoff ragen. Die Elektroden erhalten Einphasenstrom. Die ununterbrochene Dampf-

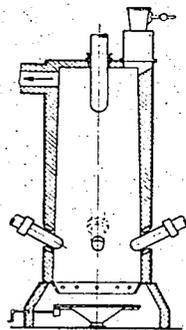


Abb. 129.  
Hohl-Elektro-Gaserzeuger.

<sup>1)</sup> Handb. d. Gasind., Bd. I, 5. Teil, S. 67.

<sup>2)</sup> I. G. Farbenind. A. G., DRP. 545 972; R. Jäppelt u. R. Steinmann, GWF 80 (1937), S. 340; Schmidt u. Groh, Oel u. Kohle 12 (1936), S. 41.

<sup>3)</sup> Gas- u. Wasserfach 80 (1937), S. 45 TR.; I. Hölz, Feuerungstechn. 27 (1939), S. 259; I. Hölz, Gas-Journal, London 212 (1935), S. 271.

zufuhr erfolgt in üblicher Weise von unten, der Dampf tritt teils durch die Schlackenböschung und den Rost, teils durch die Bohrungen eines über dem Rost eingebauten Abweisinges, gut verteilt in die Brennstoffsäule. Als Brennstoff wird meist stückiger, nicht zu grober Anthrazit (höchstens 100 mm) verwendet, mit Aschegehalt von 3,5 bis 5%. Auch Koks und Holzkohle sind brauchbar, wenn der Aschegehalt möglichst gering und möglichst hochschmelzend ist.

Die erstellten Generatoren erzeugen 170—300 m<sup>3</sup>/h. Die Betriebsweise wird geregelt durch Überwachung der Feuchtigkeit und des CO<sub>2</sub>-Gehaltes im abziehenden Gas, derzufolge die Wasserdampf- und Stromzufuhr eingehalten oder geändert wird. Zu diesem Zweck sind die Elektroden im Deckel heb- und senkbar eingerichtet. Auch die Durchsatzleistung ist durch die — selbstverständlich gemessene — Energiezufuhr regelbar.

Um ein Gas von 1% CO<sub>2</sub>, 48% CO und 51% H<sub>2</sub> mit nur Spuren von SO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> und einem oberen Heizwert von 2750 kcal zu erhalten, werden je m<sup>3</sup> Gas nur etwa 0,25—0,3 kg Brennstoff und 0,36—0,4 kg Dampf verbraucht. Die Gasausbeute liegt also bei 3,5—4,0 m<sup>3</sup>/kg. Der Stromverbrauch beträgt etwa 1,5 kWh/m<sup>3</sup>, die Abnutzung der Elektroden nur 1—1,2 kg/1000 m<sup>3</sup>.

Der Hohl-Gaserzeuger zeichnet sich demnach aus durch einfache Bauart und Bedienung und durch vollständige Gasumsetzung und hohen thermischen Wirkungsgrad.

## 6. Verwendung des Wassergases.

Blauwassergas aus üblichen kleinen, mittleren und großen Anlagen wird technisch vor allem zum Schweißen verwandt und in der Gasindustrie als Zusatzgas zum Steinkohlengas, in dem es je nach Ofenbetriebsart bis zu 30—35% enthalten ist. Entgegen der öfter geäußerten Meinung, daß es mit allgemeiner Heizwerterhöhung des Stadtgases seine Bedeutung als Beimischungsgas verlieren werde, betont F. Stief<sup>1)</sup>, daß es diese Bedeutung doch im Interesse der Betriebselastizität bei vielen Werken behalten wird. Für Heizzwecke ist es auch verwandt worden, ist aber wegen der durch die große Zündgeschwindigkeit sehr straffen, kurzen Flamme nicht überall geeignet. So war ein Versuch zur Beheizung von Siemens-Martin-Öfen in Schlesien ohne Erfolg. Für Ofenbeheizung gelang es, Wassergas zu verwenden, sowohl durch Streckung des Wassergases oder der Verbrennungsluft mit Rauchgas als auch durch Vorwärmen des Wassergases in der Rekuperation; in beiden Fällen wurde eine Vergrößerung des Flammenvolumens, also eine Streckung der Flamme erreicht.

<sup>1)</sup> F. Stief, Gas- u. Wasserfach 83 (1940), S. 1.

Weiter findet Wassergas wegen seiner hohen Flammentemperatur noch verschiedentlich Anwendung für Glüh- und Schmelzprozesse, sofern nicht karburierte oder Mischgase mit gleichzeitig höherem Heizwert vorgezogen werden.

Karburiertes Wassergas, das, wie erwähnt, für Deutschland zur Zeit kaum in Frage kommt, wird im Ausland entweder unmittelbar als Stadtgas gebraucht (Frankreich, Amerika), oder auch als Zusatz zum Kohlen- gas in Ländern mit hoher Heizwertnorm (z. B. Schweiz).

Das Wassergas der Hochleistungsanlagen wird seiner Verwendung entsprechend meist als Synthesegas bezeichnet.

### E. Zusammenfassung.

Die neuzeitlichen Formen der Generatoren bauen auf jahrzehntelanger Entwicklung der Generatorgaserzeugung auf und haben insbesondere in der Zeit nach 1920 eine sehr vielseitige und technisch wie wirtschaftlich außerordentlich vervollkommnete Ausbildung erfahren.

Für die Erzeugung von Luftwassergas (Generatorgas) herrschen neben Einbaugeneratoren, die vielfach noch ihre Berechtigung haben, und ausgemauerten Generatoren für aschearme Brennstoffe im allgemeinen die Dampfkesselgeneratoren vor, für kleine und Mittelbetriebe vor allem als Niederdruck-Doppelmantelkessel, für große Betriebe auch Hochdruck-Röhrenmantelkessel. Mit der Verbesserung der technischen Ausführung (Brennstoffzufuhr, Schlackenaustragung, Windverteilung, Generatordurchmesser) stieg auch die Leistung und Wirtschaftlichkeit der Gaserzeuger.

Luftgas (trockenes Generatorgas) erzeugen nur die Abstichgeneratoren, die in kleineren Einheiten für Spitzenausgleich oder in der chemischen Industrie verwendet werden, oder als große Einheiten in der Hüttenindustrie.

Für Kraftgaserzeugung zum Antrieb von ortsfesten Motoren wird die maschinell einfachere Sauggasanlage vorgezogen. Ebenso arbeiten als Sauggasanlagen die Fahrzeuggeneratoren für Schiffe und Landfahrzeuge, letztere erfordern wegen des Raummangels besonders gedrängte Bauarten für Generator und Reinigungsapparatur.

Neben den meistgebrauchten entgasten und gasarmen Brennstoffen werden auch bituminöse verwandt und ihr Teergehalt teilweise oder auch vollständig verkrackt; soweit Teer gewonnen wird, ist er nicht hochwertig. Hochwertigen Urteer gewinnen aus bituminösen Brennstoffen die Schwelgeneratoren mit Schwelaufsatz auf dem Luftwassergaserzeuger.

Gegenüber den mit Stickstoffballast beladenen Luftwassergasen erzeugen Wassergasgeneratoren ein stickstoffarmes Schwachgas, meist aus gasarmen Brennstoffen, erst in neuester Zeit arbeiten Sonderverfahren der Großwassergaserzeugung für Synthesegas auch unmittelbar mit

bituminösem Vergasungsmaterial. Zur Deckung des Wärmebedarfs im Wassergasprozeß wird meist im Wechselbetrieb gearbeitet. Die technische Durchbildung dieser Anlagen wurde — entsprechend dem höheren Wert des Gases — wesentlich weitergehend durchgeführt als bei Generatorenanlagen. Besonders die automatische Schaltung aller Arbeitsvorgänge wurde sehr vervollkommenet und ist in neuzeitlichen Großwassergasanlagen allgemein üblich.

Die Karburierung des Wassergases im Zusammenhang mit dem Wechselbetrieb ist zeitlich und örtlich sehr verschieden bewertet worden; in Deutschland war sie außer zur Spitzendeckung wenig in Gebrauch und hat heute höchstens in Sonderfällen noch wirtschaftliche Berechtigung. Im Ausland wird sie infolge anderer Voraussetzungen häufiger angewandt.

Neben der Wechselbetriebs-Wassergaserzeugung wurde der Fließbetrieb mit Außen- oder Innenbeheizung wiederholt — nicht immer mit Dauererfolg — versucht. Gute Aussichten haben neben der vom Strompreis abhängigen elektrischen Innenheizung vor allem die Wälzgasverfahren der Wassergaserzeugung.