

5. Teil

Gaserzeugungsöfen Vertikalöfen

Von

Dr.-Ing. Fritz Wehrmann

Duisburg

A. Die geschichtliche Entwicklung.

1. Vertikalöfen mit ruhender Ladung.

a) Vertikalretortenöfen.

Als der Vertikalofen nach 1900 seine für den jetzigen Stand der Entwicklung maßgebende technische Durchbildung erfuhr, stellte er an sich keinen neuen Gedanken dar, sondern war als fördertechisch einfachste Ofenform schon seit Beginn der Gaserzeugung oft erwogen und versucht worden, ohne daß es zu einer befriedigenden Lösung kam. Der Anreiz lag darin, daß der Materialtransport sich auf das einmalige Kohlehochfördern und die Koksabfuhr beschränkte, im übrigen maschinelle Einrichtungen in denkbar geringem Umfange gebraucht wurden und trotzdem Handarbeit sehr wenig nötig war. Schwierigkeiten bestanden gegenüber den bisher üblichen Entgasungsräumen zweifellos darin, daß die Wände des senkrechten Raumes den Druck der dichtliegenden Kohlensäule und des Entgasungsvorganges auszuhalten haben. Die früher gebrauchten Eisenretorten kamen wegen der geringen zulässigen Temperaturhöhe für eine wirtschaftliche Erzeugung nicht mehr in Frage und die feuerfeste Industrie war Anforderungen dieser Art zunächst noch nicht ohne weiteres gewachsen. Diese und andere Schwierigkeiten waren auch die Ursache, daß erst nach fast fünfjährigen, sehr wechselvollen Versuchen Dr. Julius Bueb und Mitarbeiter 1905 mit dem ersten betriebsreifen Dessauer Vertikal-Retortenofen vor die Fachwelt traten, die diese entscheidende Erfindung mit ungewöhnlicher Anerkennung aufnahm und zur Anwendung brachte. Die Schnelligkeit und der Umfang, in dem diese Neukonstruktion sich in der Praxis einführte, übertraf bei weitem die Entwicklung der sonstigen Ofenbausysteme.

b) Vertikalkammeröfen.

Das Streben nach Vereinfachung der Bedienung und Steigerung der Leistung führte den Vertikalofen auf 2 Wegen weiter, einerseits zur Vergrößerung der Retortenofen-Einheiten, andererseits zur Vergrößerung des einzelnen senkrechten Entgasungsraumes von der Vertikalretorte zur Vertikalkammer. Letztere wurde allerdings zunächst von der Fachwelt viel zurückhaltender aufgenommen, als die Retorte. Beide Formen erreichten gute Durchbildung, doch wurde für mittlere und große Lei-

stungen die Kammer zunehmend bevorzugt und erreichte dementsprechend die größte Verbreitung. Auch in der Größenordnung hat sich die Vertikalkammer sowohl nach dem Großleistungsofen hin wie nach der Kleinkammer vielseitig entwickelt. Nicht nur hinsichtlich Aufbau, Leistung, Bedienung und Dauerbewahrung war der Vertikalofen etwas entscheidend Neues. Durch den für seinen Betrieb bald allgemein üblichen Naßbetrieb (Wassergaserzeugung in der Kammer zu Ende der Ausstezeit) wurde er mitbestimmend im Übergang vom reinen Kohlen- gas zum heizwertärmeren, aber durch bessere Brennbedingungen ausgezeichneten Mischgas. Zwar ist der Begriff des Naßbetriebes, technisch und wirtschaftlich betrachtet, ein oft behandelter Streitfall im Gasfach geblieben. Zur Klärung der Fragen hat aber der Vertikalofenbetrieb vornehmlich beigetragen.

c) Vertikalkammerbetrieb mit Verfahren zur Heizwert- steigerung.

Die Möglichkeit der Ausbeutesteigerung durch Naßbetrieb fand ihre Grenze in der zulässigen Heizwertverminderung. Teils durch die Bekämpfer der Heizwertminderung veranlaßt, teils durch Preisänderungen am Teermarkt, war der Vertikalofen wiederum stark beteiligt an der Weiterentwicklung alter, oft wieder aufgenommenener und meist erfolgloser Versuche zur weiteren Steigerung der Ausbeute durch Wiedererhöhung des gesenkten Heizwertes mit Hilfe des bei der Destillation anfallenden Teeres. Bei der nicht zu ändernden chemischen Struktur des Steinkohlenteers ist zwar ein wesentlicher Erfolg dieser Bestrebungen höchstens mit Teerölen zu erwarten, wohl aber läßt die Autokarburatation, die Aufnahme von Teerheizwert »in statu nascendi«, günstigere Erwartungen zu. Ein aussichtsreicher Weg ist in der Form der Vereinigung von Entgasungs- und Wassergas-(Koks-)Kammer in einem Ofen gefunden worden.

2. Vertikalöfen mit wandernder Ladung.

Etwa zu derselben Zeit, in der der Dessauer Vertikalofen mit ruhender Ladung nach harter Vorarbeit in Deutschland seinen Siegeszug begann, entwickelten die englischen Ingenieure Woodall und Duckham mit zäher Energie den ebenfalls schon aufgeworfenen Gedanken eines im senkrechten Schacht langsam wandernden Kohlenstromes zu einer brauchbaren Ausführung des stetigen Vertikalofens, der seit 1908 besonders in England starke Aufnahme fand. In Deutschland hat sich der stetige Vertikalofen aus verschiedenen Gründen nicht in dem gleichen Maße eingeführt, doch ist dieser Gedanke der idealsten Form der Kohle- verarbeitung seither auch von deutschen Firmen aufgenommen, weiterentwickelt und zu betriebstechnisch und wirtschaftlich hoher Vollendung gebracht worden.

3. Generatoren.

Für die Beheizung der Entgasungsöfen war zur Zeit der Ausbildung des Vertikalofens der Schwachgaserzeuger bereits von der Rostfeuerung über den Halbgenerator zum Vollgenerator entwickelt und bewährt. Dieser Fortschritt war ein Erfolg der zähen und weitblickenden Pionierarbeit und der mit praktischem Verständnis geleiteten Versuche Hans Buntens, der erstmalig diesen grundlegenden Teil des Gaserzeugungsbetriebes technisch und wissenschaftlich durchleuchtete und die Richtlinien für seine weitere Durchbildung gab. Durch Dampf- oder Wasserzusatz arbeitete der Generator nun als Halbwassergas- (Koksgas-Wassergasgemisch-)Erzeuger. Der Einbaugenerator, der sich dem Vertikalofen besonders günstig einfügt, wurde in den Zeiten der übertriebenen Rationalisierung um 1920 oft als veraltet und überlebt abgelehnt. Zweifellos hat der Zentralgenerator für größere, und bei günstigen Voraussetzungen auch für mittlere Werke manche Vorteile. Daneben hat aber der Einbaugenerator — zumal in den unter dem Einfluß des Wettbewerbes mit dem Zentralgenerator in neuerer Zeit wirtschaftlich und technisch verbesserten Ausführungen — seine Berechtigung behalten und ist infolge der Einfachheit seiner Handhabung auch in größeren Betrieben beliebt. Diese Weiterentwicklung ist besonders den umfangreichen praktischen und wissenschaftlichen Arbeiten von Terrés und Mitarbeitern¹⁾ zu verdanken, die eine gründliche Kenntnis der Vorgänge vor allem in Generatoren größerer Bauart vermittelten und dadurch verbesserte Grundlagen auch für deren Bau und Betrieb schufen. — Der Zentralgenerator ist — auf Grund der besonders in der Hütten- und der Gasindustrie gesammelten Erfahrungen — sowohl als ausgemauerter, neuerdings vorwiegend als Dampfmantelgenerator für Nieder- oder Hochdruck, zu Bauarten entwickelt worden, die den verschiedensten betrieblichen und wirtschaftlichen Anforderungen weitestgehend entsprechen.

B. Der neuere und gegenwärtige Stand der Verfahren.

(Bauarten, Versuchs- und Betriebserfahrungen, Wirtschaftlichkeitsfragen.)

1. Vertikalöfen mit ruhender Ladung.

a) Vertikalretortenöfen.

α) Bauarten der Retortenöfen.

Gegenüber der bei den alteingeführten Horizontalretorten und nachdem Schrägretorten bekannten umfangreichen und schweren Handarbeit und der in größeren Betrieben sehr anwachsenden zusätzlichen maschinellen Arbeit galt der Gedanke des Ofens mit senkrechten Entgasungsräumen immer als die erstrebenswerte Möglichkeit, mit einem geringen Aufwand

¹⁾ Gas- und Wasserfach 67 (1924) S. 257; 71 (1928) S. 1206.

an Hilfsmaschinen und Handarbeit auszukommen und auf kleiner Grundfläche eine hohe Leistung unterzubringen. Die Schwierigkeiten lagen darin, daß ein anderer Baustoff als feuerfestes Material aus Rücksicht auf die bereits allgemein üblich gewordenen Temperaturen nicht in Frage kam, daß aber die deutschen Chamottefabriken trotz z. T. über 30jähriger Betriebserfahrungen erst nach manchem Mißerfolg die Bauart und das Material ausarbeiten konnten, das den besonderen Ansprüchen in der Vertikalretorte entsprach. Die besondere Bedeutung des von Dr. Bueb gemeinsam mit der Deutschen Continental-Gasgesellschaft in den

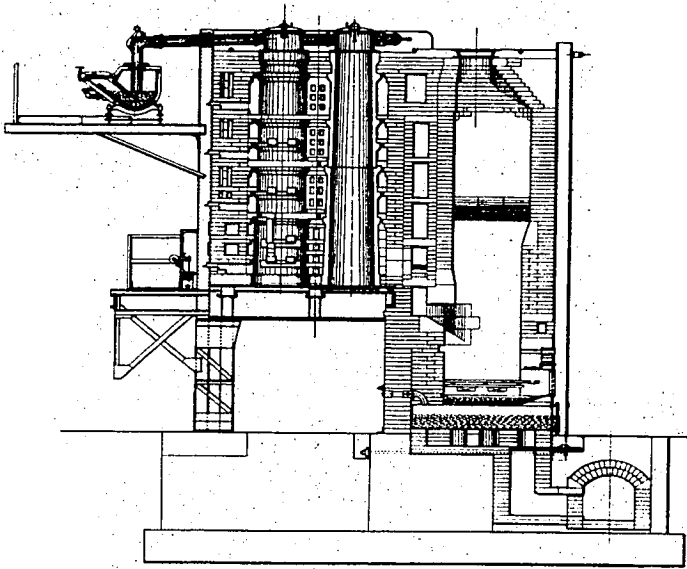


Abb. 1. 10er Vertikalretortenofen nach Dr. Bueb 1906.

Jahren 1900—1905 ausgebildeten Dessauer Vertikalofens¹⁾ erhellt daraus, daß diese Bauart — obwohl sie Ausgangspunkt einer stark fortschreitenden Entwicklungsreihe wurde — doch an sich ohne grundsätzliche Änderungen schon über ein Menschenalter lang ihre Betriebsbrauchbarkeit und Wirtschaftlichkeit bewiesen hat. — Wenn Ausführungen der im ersten Jahrzehnt geschaffenen Bauarten auch nur noch vereinzelt in Betrieb und nicht als neuere Bauart zu bezeichnen sind, müssen doch der Dessauer Vertikalretortenofen und vor allem seine ersten Nachfolger nicht nur als Stufen technischer Entwicklung, sondern als dauerbewährte Ausführungsformen hervorgehoben werden.

¹⁾ Dess. Vert.-Of.-Ges. DRP. 153166, 178307.

Die senkrechte Retorte war zunächst 4 m hoch und bestand aus zwei muffenrohrartig aufeinandergesetzten Chamotteformlingen ovalen bzw. abgerundet-rechteckigen Querschnitts (Abb. 1). Die muffenartigen Verstärkungen sowie eine Anzahl angeformte ringsumlaufende Rippen hatten mehrfachen Zweck: gute Aufdichtung der Retortenstücke aufeinander, Versteifung gegen inneren Druck und Auflage für die zur Feuerführung erforderlichen Heizkanalabdeckungen und Schieberplatten. Die Retorten hatten, teils aus Rücksicht auf die nach oben abnehmende Beheizung, vor allem aber um das Fallen des Kokskuchens zu sichern, in der Länge und Breite konische Ausbildung. (Stärke der Konizität vgl. später bei Vertikalkammern.) Der mittlere Durchmesser der Retorte betrug etwa 300 mm. Ein Ofen umfaßte 6—10 Retorten in 2 Reihen. Der bis zur Ladeflur hochgezogene Generator hatte eine große Schütt Höhe, wurde mit gegabeltem Koks beschickt und war mit wasserberieseltem Treppen- oder Stabrost und Wasserschiff versehen. Die Beheizung der Retorten erfolgte trotz ihrer Höhe von einem Brenner aus; die Flamme wurde durch eine sorgfältig durchdachte und ausprobierte Anordnung von waagerechten Kanälen mit durch Schieberplatten regulierbaren senkrechten Durchgängen so verteilt und gezogen, daß eine der Verjüngung der Retorten entsprechende, nach oben gleichmäßig abgeschwächte Temperatur erreicht wurde. Die Verbrennungsluft wurde in den beiderseits des Generators angeordneten Rekuperationskanälen durch die abziehenden Rauchgase in jetzt noch üblicher Form vorgewärmt.

Die guten Erfahrungen mit der Standfestigkeit der Retorten führten bald zur 5 m hohen Retorte und dem dreireihigen 12er Ofen.

Im Streben nach größerer Leistung und höherer Wirtschaftlichkeit bildete Bolz (Gaswerk Budapest) 1908/9 mit Didier den später als Vertikalofen System Pintsch-Bolz weiterentwickelten Ofen aus¹⁾ (Abb. 2). Dieser stellt wärmewirtschaftlich insofern etwas ganz Neues dar, als der Generator mit heißem Koks unmittelbar aus der Kammer beschickt wurde und so die fühlbare Wärme dieser Koksmenge nicht vernichtet, sondern sowohl als fühlbare Generatorgaswärme, als auch durch Verbesserung der Umsetzungsbedingungen im Generator in Form besseren Heizgases gewonnen wurde. Der Generator war zu diesem Zwecke tiefgestellt und infolge der Heißfüllung niedriger gehalten und der Retortenblock wurde darüber gestellt. Der Ofen war vierreihig mit Gasabgängen und Teervorlagen auf zwei Seiten angeordnet. Ein Generator beheizte 20 Retorten, die später paarweise mit je einem Füllmundstück vereinigt wurden. Spätere Bauarten faßten zwei dicht aneinandergebaute Generatoren mit einem Block von 24 Retorten zusammen. Im Gegensatz zum Dessauer Vertikalofen, der die Brenner und die Rekuperation an der Ofenrückwand, die Heizzüge quer zur Ofenachse aufweist, hat der Bolz-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 52 (1909) S. 591.

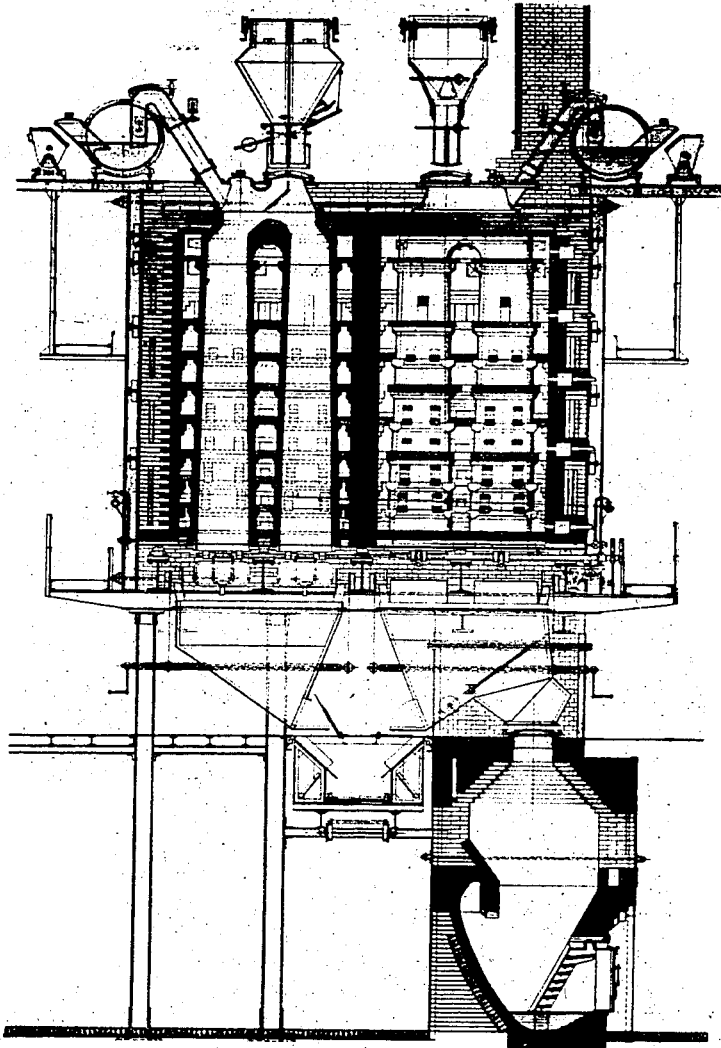
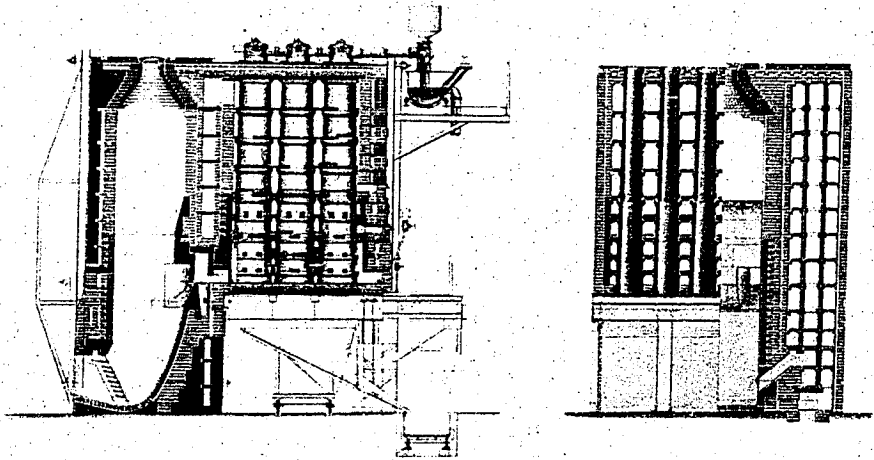


Abb. 2: Pintsch-Bolz-Vertikalretorten-Ofen.

Ofen Rekuperation und Brenner an den Schmalseiten und die Heizzüge in der Längsachse des Ofens, so daß die Flammengase an den Schmalseiten statt den Längsseiten der Retorten vorbeistreichen. Diese Bauart

ist bedingt durch die getrennte Aufstellung des Generators. Als besondere Vorteile hebt Bolz¹⁾ außer der wirtschaftlicheren Verwendung heißen, unsortierten Kokes hervor: Wegfall des Transports und der Absiebung des Generatorkokes, größere Retortenzahl je Ofen, geringeren Platzbedarf für den Generator, wodurch der größere Höhenbedarf kostengemäß ausgeglichen würde. Die Gesamtanlagekosten sollten 15—20% geringer, Gesamterzeugungskosten 10% billiger als bei Dessauer Öfen sein. Trotz einiger Nachteile, insbesondere der ungewöhnlichen Bauhöhe



— Abb. 3. 18 er Vertikalretortenofen nach Dr. Bueh 1910.

und der durch den heißgestochten Generator bedingten Hitze der Bedienungsfläche, hat diese Bauart bis in neueste Zeit ihre Wirtschaftlichkeit erwiesen und hat weite Verbreitung gefunden.

Im Wettbewerb mit diesem ersten Bolz-Ofen zu 20 Retorten schuf die Dessauer Vertikalofen-Gesellschaft ebenfalls einen Retortenofen mit erhöhter Durchsatzleistung je Grundfläche und Generator, den Vertikalofen Modell 1910 mit 18 Retorten von 5 m Höhe, der bei 12stündiger Ausstezeit und etwa 0,6 t Retortenladung täglich 21 t Kohle durchsetzte. Gegenüber den früheren 4 m hohen Retortenöfen mit einer Leistung von ca. 180 m³ je m² Grundfläche und Tag erzeugte der 18er Ofen 250 m³ Gas/m²/Tag (Abb. 3).

Zur Lohnersparnis bei der Bedienung und zur Verringerung der Armaturen wurden je 3 Retorten in einem Gasabgang mit nur einer Teervorlage zusammengefaßt, so daß nach Angabe von Körting²⁾ ein Ofen-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 52 (1909) S. 591.

²⁾ Gas- und Wasserfach 53 (1910) S. 819.

arbeiter (Schlacker nicht mitgerechnet) arbeitstäglich 17500 m^3 Gas herstellte, eine bis dahin im Gaswerksbetrieb noch nicht erreichte Leistung. Dieser Ofen bedeutete gegenüber den bisherigen Dessauer Öfen eine Leistungssteigerung um etwa 30% bei nur geringer Unterfeuerung. Diese war bei den ersten Dessauer Öfen, insbesondere den alleinstehenden Versuchsofen, noch zu hoch, wurde aber durch Verbesserung der Isolierung und Vergrößerung der Einheiten ständig verringert und wird beim Vertikalofen 1910 mit 11—12% angegeben.

Dieser Ofen Modell 1910 hat seiner Leistung entsprechend stärkste Verbreitung gefunden und ist heute noch in ähnlicher Ausführung in Betrieb und wettbewerbsfähig. Die Bauart der Retorten ist teils noch die frühere, aus Rohrenkorpern, meist aber sind diese durch gemauerte Retorten aus Formsteinen ersetzt, ferner ist noch die Bauart in Gebrauch, daß der Retortenunterteil gemauert, der Oberteil als Röhrenstück aufgesetzt ist. Das Zurücktreten der geformten hinter den gemauerten Retorten rührt einerseits von den weiter gesteigerten Entgasungstemperaturen her, denen die Chamotteretorten nicht mehr voll entsprachen, weshalb z. B. gemauertes Unterteil aus hochwertigerem Material verwendet wurde, andererseits sind es fabrikationstechnische Gründe. Das Stampfen von Retortenformlingen war ein Sonderhandwerk, dessen Bedeutung durch das Überwiegen der maschinengeformten Steine stark zurückgedrängt wurde und dem es infolgedessen an Nachwuchs fehlte. Da, wie später ausgeführt, Kleinkammerofen auch für Leistungen kleinerer Werke gebaut werden, dürfte das völlige Verschwinden der geformten Vertikalretorten nur eine Frage der Zeit, weniger der unbedingten technischen und wirtschaftlichen Notwendigkeit sein.

Dagegen hat die aus Segmentsteinen gemauerte Vertikalretorte für kleine und kleinste Werke auch neben der Kleinkammer ebenso ihre Berechtigung und Lebensfähigkeit, wie sie der Horizontalretortenofen für diese Werke behalten wird. Bei kleinem Behälterraum kann das zwangsweise Auseinanderziehen der Chargen eines Kleinkammerofens untragbar sein und mit der doppelten Zahl Vertikalretorten ein gleichmäßigerer Betrieb zu leisten sein.

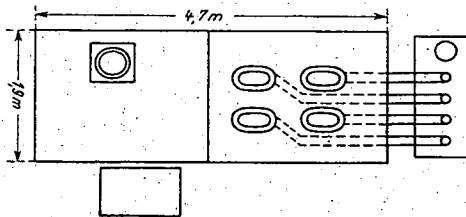


Abb. 4. Vertikalretortenofen (Didier).

Abb. 4 zeigt einen Didier-4er-Retortengeneratorofen, dessen Ofenblock ohne Bühnen nur 9 m^2 Grundfläche einnimmt und der bei 3 m Kammerhöhe eine Jahresleistung von etwa einer Viertelmillion m^3 gibt. Die Retorten sind aus Silikaformsteinen gemauert und für 8stundigen Trockenbetrieb oder 12stundigen Naßbetrieb vorgesehen.

β) Betrieb der Vertikalretortenöfen.

Die übrigen Einrichtungen sowie die Betriebsergebnisse der neueren Ausführungen von Vertikalretortenöfen entsprechen weitgehend denen der Kammeröfen, so daß hier auf eingehende Beschreibung verzichtet und auf die späteren Ausführungen hierzu verwiesen werden kann, ebenso hinsichtlich des Dampfzusatzes in den Kammern. In der Ausrüstung und den Nebeneinrichtungen der Vertikalretorten kommt ihre Größenordnung insofern zum Ausdruck, als im Hinblick auf die zu bewegenden Mengen die handbetätigten Vorrichtungen überwiegen und erst bei Aneinanderreihung größerer Ofenzahlen sich mehr maschinell entwickelten. Gegenüber den Retorten der Großretortenöfen mit 500—600 kg Ladefähigkeit gehen heute die Retortenladungen, weil sie immer mehr für Kleinerzeuger in Frage kommen (vgl. oben), auf kleinere Gewichte über bis zu 330 und 250 kg/Retorte. Die Teervorlage (s. später) war ausschließlich als Sammelvorlage je Ofen oder Ofenseite üblich und ist bei den naturgemäß gedrängten Platzverhältnissen auch beibehalten worden, nur tritt oft die Einzeltauchtasche an Stelle des Tauchrohres mit Gesamtauchung der Vorlage.

Die starke Verbreitung des Vertikalretortenofens war nicht nur durch seine baulichen Vorteile und seine hohe Durchsatz- und Gasleistung bedingt, sondern auch durch die Qualität der Nebenerzeugnisse. Der Vertikalofenkoks war entsprechend der vollen Füllung des Retortenquerschnitts und der Belastung der zusammensinternden Kokssubstanz durch die überstehende Säule fester als bei anders gelagerten Retorten. Infolgedessen war nicht nur die Sortierung absatzgünstiger und gab weniger Verlust, sondern es wurden auch höhere Verkaufspreise für Vertikalofenkoks erlöst. Es ist hier darauf hinzuweisen, daß diese Tatsache befruchtend auf die Entwicklung der Horizontalretorten- und anderer Ofenbauarten einwirkte und bei diesen Anlaß gab zur Einführung von Verfahren zur besseren oder völligen Füllung der Entgasungsräume. Die Beschaffenheit von Gas und Teer war günstig beeinflußt durch die stark verminderte Gaszersetzung infolge Verringerung des ungefüllten überhitzten Raumes, den das Gas vor Abgang aus der Retorte durchstreichen muß. Je stärker diese pyrogene Zersetzung der Gas- und Teerbestandteile ist, die z. B. in der nur halbgefüllten Horizontalretorte am stärksten gefördert wurde, desto mehr unerwünschten Gehalt hat das Gas an Naphthalin und Zyanwasserstoff, der Teer an Pech und freiem Kohlenstoff. — Vertikalofengas hat daher weniger Naphthalin, so daß die Benzolwäsche zu seiner Entfernung grundsätzlich mit ausreicht, und wenig Zyan, so daß eine Zyanwäsche überflüssig ist. Der Vertikalofenteer hatte, je nach der Betriebsweise, 10—15% mehr Leicht- und Mittelöle und 10—20% weniger Pechrückstand und war als wertvollere und deshalb besser absetzbarer Rohstoff für die Wirtschaftlichkeit des Gaswerkbetriebes von großer

Bedeutung. Als besonderer Vorteil wurde bei der damaligen Lage des Stickstoffmarktes das höhere Ausbringen an Ammoniak hervorgehoben, das infolge verringerter Gaszersetzung unter Rückgang des Zyananfalls und durch die Mitwirkung des Dampfzusatzes um mindestens $\frac{1}{3}$ höher war, als bei anderen Ofenbauarten. Bei anhaltendem Naßbetrieb ergab sich zwar etwas mehr Rohgaswasser, aber durch den höheren Ammoniak-anfall war es prozentual nicht schwächer als sonst üblich.

b) Vertikalkammeröfen.

α) Die Kammer.

Bauarten und Material. Die Ausbildung des obenerwähnten Vertikalofens Modell 1910 mit 18 Retorten war ein Kennzeichen für den in diesen Jahren im Gasfach sich abspielenden Kampf um die Entwicklung von der Retorte zur Kammer. Der Begriff Kammer ist nicht eindeutig umrissen. Die oft gebrauchte Begrenzung: Kammer = über 1 t Ladung, trifft nicht mehr zu; unrichtig ist auch, eine Retorte nur deshalb als Kammer zu bezeichnen, weil sie aus Formsteinen gemauert ist; denn auch Horizontalretorten werden in Silika gemauert. Das Charakteristikum der Kammer ist vielmehr, daß nicht nur der ovale Querschnitt verlassen wird, sondern auch die Länge etwa das Dreifache der Breite überschreitet, also ein langrechteckiger Querschnitt erreicht ist. Die Entwicklung zur Kammer ging folgerichtig von den durch einen gemeinsamen Gasabgang verbundenen zwei oder drei hintereinander liegenden Retorten zu der diesen ganzen Raum umschließenden Kammer über. Der Kammerofen, der seit 1907 von der Dessauer Vertikalofen-Gesellschaft und etwa gleichzeitig von Klönne ausgebildet wurde, hatte gegenüber den Retortenöfen als jüngere Bauart naturgemäß mancherlei Schwierigkeiten hinsichtlich Aufbau, Haltbarkeit des Kammermaterials, Heizungs-führung u. dgl. Es ist daher begreiflich, daß gerade maßgebende Vertikalofen-Fachleute die Sicherheit des in Jahren Bewährten gegenüber einer noch verhältnismäßig unsicheren Neuerung entschieden vorzogen, und daß in den Fachversammlungen von 1910 die Vertikalkammer wegen angeblich zu hoher Unterfeuerung sowie geringerer Leistung und Haltbarkeit stark abgelehnt wurde. Der Vorteil der Kammer lag zweifellos in dem je t Ladung geringeren Leerraum mit entsprechend geringerer Wandzersetzung, in der Vereinfachung von Armaturen und Zubehör und in der je m² Grundfläche gegenüber Vertikalretortenöfen 30—40% höheren Leistung. Die Ausbildung der Vertikalkammer war daher nicht aufzuhalten und die seit 1907/8 von einer trotz vielfacher Patentstreitigkeiten immer zunehmenden Anzahl von Ofenbaufirmen herausgebrachten Ausführungsformen förderten im Wettbewerb die Durchbildung dieser neuen Bauart. Erwähnt seien die Vertikalkammer von Didier 1907/8, von Hörn 1908¹⁾, von Klönne 1907 und 1910 u. a. m. Auch der oben-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 51 (1908) S. 429.

erwähnte Pintsch-Bolz-Ofen mit Unterbaugenerator wurde aus dem vierreihigen Retortenofen zu einem zweireihigen Kammerofen mit beiderseitigen Gasabgängen umgebildet. Das Bestreben ging naturgemäß anfangs dahin, den Kammerraum für den Bedarf großer Werke möglichst zu vergrößern und so die Durchsatzleistungen je m² Grundfläche zu erhöhen. Diese Durchsatzsteigerung bedingte höhere Temperaturen entsprechend den größeren zu durchheizenden Querschnitten und den höheren Temperaturen mußten zunächst das Baumaterial und die Bauart genügen. Das Chamottematerial der Vertikalretorten war für die neuen Anforderungen deshalb nicht mehr ausreichend, weil es bei den nun erhöhten Betriebsanforderungen nicht nur auf den Schmelzpunkt des Ft.-Materials ankam, sondern noch mehr auf die Standfestigkeit bei hohen Temperaturen, also auf den Erweichungspunkt. Ein zu früh erweichendes Material kann den bei den hoch und schwer gebauten Kammern bis etwa 2—3 kg/cm² und mehr zunehmenden Druck nicht ohne Kammerverformung und daraus folgende Betriebsschwierigkeiten tragen. Deshalb zwang der Vertikalkammerbau besonders zum Übergang vom basischen Chamottematerial zum sauren Silikastein. Allerdings hat der kalkgebundene hochwertige Silikastein wiederum den für hochgebaute Kammern sehr ins Gewicht fallenden Nachteil starker Dehnung beim Hochheizen. — Die Notwendigkeit, mit Silikamaterial zu arbeiten, aber den Nachteil des starken Wachsens der Kammer zu mildern, hat im Aufbau der Vertikalkammer zu 2 Wegen geführt, die teils getrennt, meist aber zusammen gewählt werden: einerseits Verwendung von Sondermaterial mit nicht zu starkem Wachstum, andererseits Berücksichtigung des Wachsens in der Bauausführung. Als Sondermaterial werden Steine verwendet, deren Zusammensetzung zwischen Silika- und Chamottestein liegt. Es ist an sich möglich, die wachsende Neigung des Quarzes mit der schwindenden Neigung des basischen Materials weitgehend abzustimmen. Hinzu treten aber noch die Forderungen der Standfestigkeit und Maßhaltigkeit im Feuer, der guten Wärmeleitfähigkeit, Gasdichte, mechanischen Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe durch Salz- und Aschebestandteile der Kohle. Die Ofenbauunternehmen haben aus ihren Erfahrungen Sondermaterialien verschiedener Art entwickelt, deren Zusammensetzung und Bezeichnung nicht allgemein vereinheitlicht ist. Die z. T. unrichtigen Namen Dinas (eigentlich für einen englischen Sonderrohstoff geltend), deutscher oder Tondinas, ferner Quarzchamotte oder halbsaure Quarzchamotte, Tonquarzsteine u. dgl. bezeichnen solches für hohe Vertikalkammern besonders wichtiges und geeignetes Material. Da gegenüber den mechanischen Anforderungen die Dehnung nicht ausgeschaltet werden kann, wird außer in der Materialauswahl auch im Aufbau in verschiedener Weise darauf Rücksicht genommen, daß die Kammern ohne Verformung oder Ribbildung auf hohe Temperatur gebracht werden können. Die ursprüngliche Form war 1907 (Abb. 5) die

in der Ofenhülse freistehende, also frei bewegliche Kammer, die nur außen mit Rippen (Nasensteinen) zur Auflage der die Heizkanäle bildenden Platten versehen war; diese Form ist wegen der unzureichenden Formfestigkeit der Kammer später verlassen worden. Neuzeitliche Vertikal-kammeröfen stellen entweder einen insgesamt in sich festgeschlossenen, selbstverständlich durchweg mit Nut und Feder und möglichst engen Mörtelfugen vermauerten Gesamtofenblock dar oder einen in der Ofenhülse lose stehenden, nach oben freibeweglichen Kammerblock (Klönne, DOG.), oder sie gestatten durch Einfügung von besonderen Dehnfugen

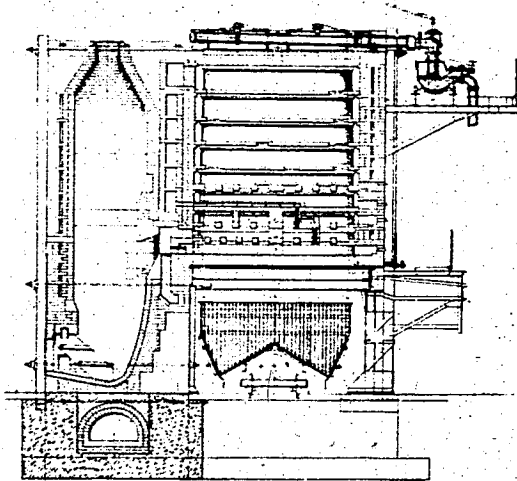


Abb. 5. Dessauer Vertikal-kammerofen älterer Bauart mit unabhängiger Kammer.

innerhalb des in der Ofenhülse lose stehenden Kammerblocks den Ausgleich der beim Hochheizen auftretenden Bewegungsneigungen (Didier). Diese der freien Bewegung dienenden Fugen müssen während des Hochheizens von sinterndem Material, wie Mörtel oder nachrieselndem Steinstaub freigehalten werden und werden deshalb z. B. bis durch die Grundplatte offen durchgeführt (Klönne) oder mit einem geeigneten Sondermaterial ausgefüllt (Didier). — Außer den beim Hochheizen und etwaiger vorübergehender Außer-

betrieblnahme auftretenden Bewegungseinflüssen muß der Kammerbau die Einflüsse des laufenden Betriebes berücksichtigen durch Ausbildung einer Kammer, die auch bei störenden Kohle- und Kokseigenschaften fest und in richtiger Form bleibt. Wenn auch betriebseitig schon grundsätzlich der Verwendung treibender Kohle oder Kohlemischungen vorgebeugt werden muß, so können doch durch Flözänderungen, Fehllieferungen, Mischungsfehler u. dgl. anhaltende oder vorübergehende Treibdrucke auftreten, denen eine neuzeitliche Kammer vorsorglich entsprechen muß. Die neuere, bis in die letzte Zeit immer weiter verbesserte Entwicklung ging von der ersten, nur aus Läufersteinen bestehenden Kammer auf einen immer mehr in sich geschlossenen und verzahnten Kammerblock über, um damit zu erreichen, daß jeder irgendwie auftretende unerwünschte Druck sich nicht örtlich auswirken, sondern im Gesamtaufbau verteilen sollte. — An Stelle der früher nur auf Nasen-

steinen aufliegenden Heizkanal-Deckplatten traten durchgehende, mit ihren Endflächen zugleich Kammerwand bildende Bindersteine. Eine solche sehr beständige und für die wahlweise bzw. dem Sonderbedarf angepaßte Unterbringung von Abdeckungen oder Schiebern geeignete Bauart ist die Binderkammer (Didier), die aus Binder- und Läufersteinen im Wechsel gebaut ist (Abb. 6a). Ferner ist von Klönne als besonders widerstandsfähig eine biegungsfeste Heizkanaldecke angegeben (Abb. 6b), die über-

wiegend aus durchgehenden Bindersteinen besteht und mittels besonderer Binderformsteine nur wenige erforderliche Heizgasdurchgänge offen läßt. Die Bauart Dr. Otto (Abb. 6c) sieht von durchgehenden Bindersteinen ab und erreicht eine entsprechende Druckversteifung durch zwischen je 2 Nasensteinreihen gehaltene starke Abdeckungen. — Eine weitere Sicherung gegen Treibdruckverformung bildet die mehrfach übliche schwach gewölbeartig ausgebauchte Anordnung der Kammerlängswand. Da nie alle nebeneinander liegenden Kammern gleichzeitig geladen werden, treten etwaige Treibdrucke zeitlich verschieden auf und es besteht daher an sich die Möglichkeit, daß infolge der angegebenen Bindung der

nebeneinander liegenden Kammerwände eine Ausbauchungsneigung der einen Kammer eine Einbauchung der Nachbarkammer verursacht. Die gewölbeartige Wirkung der Kammerwandausbauchung arbeitet solchem Druck von der Nachbarkammer her entgegen. Diese nur wenige mm betragende Ausbauchung wird noch viel angewandt; sie erscheint zwar bei den neuzeitlichen sehr biegungsbeständigen Binderbauarten nicht mehr unbedingt erforderlich, ist aber als zusätzliche Sicherheit nicht zu unterschätzen.

Der waagerechte Kammerquerschnitt ist verschieden ausgeführt worden. Zunächst war die ausgerundete Gehrung allgemein üblich (Abb. 7a). Vor allem aus herstellungstechnischen Gründen führte sich neuerdings die trapezförmige Gehrung mehr ein (Abb. 7b), auch der

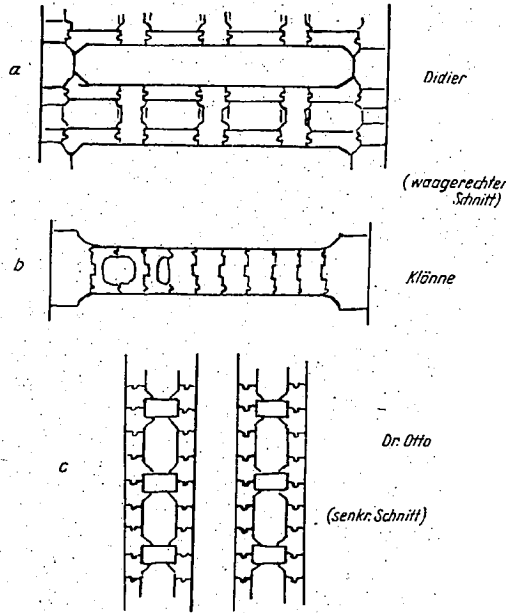


Abb. 6. Kammerbauarten.

ganz rechteckige Kammerquerschnitt wurde ausgeführt (Abb. 7c). Abb. 7d zeigt, etwas übertrieben gezeichnet, die erwähnte gewölbte Bauart der Längswand.

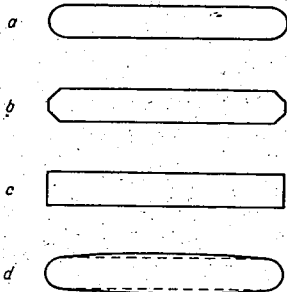


Abb. 7. Kammerquerschnitte.

Gegenüber der oben beschriebenen Notwendigkeit sorgfältiger Materialauswahl und Kammersteinherstellung verdient eine Sonderbauart Erwähnung, die zwar überholt, aber als Zeiterscheinung von großer Wichtigkeit und technisch wertvoll war: die in der Kriegs- und Nachkriegszeit von Klönne gebaute Stampfkammer. Sie entstand in der Zeit 1915/20 aus der Rohstoff- und Brennstoffknappheit und verlegte die Herstellung der Kammer ganz in das Gaswerk. Unter Mitverwendung des aus Abbruch anfallenden Rohmaterials wurden die

Kammern eines ganzen Ofens einschließlich der zwischenliegenden Heizkanalwände in einer mit dem Hochführen des Baues weitergebauten Form in einem Stück gestampft und das Brennen des so erhaltenen »Formsteins«

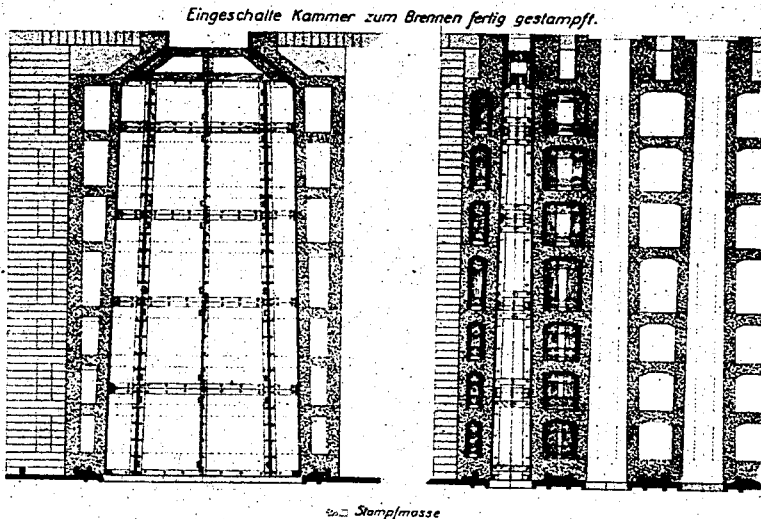


Abb. 8. Fugenlose Vertikalkammern.

mit dem Hochheizen zusammengefaßt (Abb. 8). Bei sorgfältiger Materialbereitung, Stampfarbeit und gut überwachtem Brennen ergaben sich fugenlose Vertikalkammern, die den gemauerten in Wandstärke und Wärmeleitfähigkeit durchaus entsprachen und sich bis heute im Dauer-

betrieb bewährt haben. Die Abhängigkeit des Enderfolges von der unbedingten Zuverlässigkeit der Handstempelung und der Leitung des Brennvorganges, ferner die bessere Maßhaltung und Gleichmäßigkeit der in den Steinfabriken hergestellten Formsteine führten zur Aufgabe dieser Bauweise, zumal sie sich nur für Chamotte-material eignet.

Kammergrößen. In der Größenentwicklung suchte der Kammerbau, wie erwähnt, zunächst den den großen Retortenöfen ähnlichen oder größeren Leistungen zu entsprechen. Gewisse Grenzen sind der Vertikalkammer gesetzt in der Breite, Tiefe und Höhe. Die Breite beträgt bei 12stündiger Ausstezeit im Mittel etwa 300 mm, bei 24stündiger 400 mm. Für die Entscheidung, ob 12- oder 24stündige Kammern zu wählen sind, sind die örtlichen Betriebsverhältnisse maßgebend. Der teurere, schwerere Bau des 24stündigen Ofens sollte möglichst durch Lohnersparnisse (Wegfall der Nachtschicht) ausgeglichen werden. Hierzu ist aber ausreichender Behälterraum Voraussetzung, weil sonst die infolge Zusammenballung der Chargen sehr schwankende Gasbeschaffenheit in das Stadtnetz übertragen würde. Für Werke mit einer Erzeugung unter 25 000 m³/Tag sind 24stündige Kammern im allgemeinen nicht ratsam. — Die Kammerlänge kann nur auf 3 bis höchstens 3,5 m ausgedehnt werden, weil sonst der Kammerdeckel und die zugehörigen Bewegungs- und Befestigungseinrichtungen unverhältnismäßig schwer ausgeführt werden müßten. — Die sich aus diesen Maßen ergebende größte Grundfläche von 1 bzw. 1,4 m² gibt bei einem Schüttgewicht von etwa 780 kg/m³ für gemahlene Kohle als ungefähres Ladegewicht bei einer Höhe von

	6 m	7 m	8 m	
für 12stündigen Betrieb	4,2	4,9	5,6 t/Kammer	
» 24 » »	5,5	6,5	7,5 »	

Größere Höhen werden bau- und betriebstechnisch nicht ohne weiteres in Frage kommen. Diesen Zahlen entsprechen die Angaben der Ofenbau-firmen über große Vertikalkammerausführungen, z. B.

Deutsche Ofenbau-Ges. 24stündig	bis 7,5 t/Kammer		
Didier 12stündig	» 5,5	»	
24 »	» 6,8	»	
Pintsch-Otto u. Dr. Otto 12—24stündig . 2 »	7,5	»	u. a. m.

Vertikalkammern über 5—6 t sind jedoch nur in wenigen Gaswerken in Gebrauch. Der obenerwähnte Pintsch-Bolz-Ofen mit untergebautem Generator ist auch als zweireihiger Kammerofen mit 1—2 t/Kammer ausgeführt, wobei eine Kammer an Stelle von 2 Retorten trat.

Dem anfänglichen Streben nach möglichst großen Kammern folgten, nachdem der Vertikalkammerbetrieb die gleiche Durchbildung und gegenüber den Anfangsausführungen günstigere Betriebsergebnisse (vgl. später) ergeben hatte als die Vertikalretorten, Versuche mit möglichst

kleinen Kammereinheiten (zunächst besonders Didier), um die Vorteile des Vertikalkammerbetriebes auch mittleren und kleinen Werken zugänglich zu machen bzw. um in solchen Werken anpassungsfähigere Einheiten aufstellen zu können. Die Kammerausführung ist grundsätzlich dieselbe, wie bei großen Einheiten. Als Vertikal-Kleinkammerausführungen werden angegeben z. B.

Didier-Werke	0,63—0,73 t/Kammer	8stündig
»	0,9	12 »
Silamit-Werke	0,6 —0,8	ca. 8 »
Deutsche Ofenbau-Ges.	0,8 —1,0	12 »

Konizität. Um das Fallen des ausgestandenen Koks-kuchens zu erleichtern, waren die Vertikalretorten stark konisch ausgebildet und diese Konizität ist grundsätzlich auch auf die Vertikalkammer übernommen worden. Der Grad der Verjüngung ist nicht festliegend, sondern z. T. betriebsbedingt. Es kommt darauf an, daß das Gewicht des Koks-kuchens die Haftreibung an der Wand überwindet, die natürlich bei neuen, völlig glatten Kammern geringfügig ist, aber bei dem im Laufe der Jahre natürlichen Verschleiß zunehmen kann, bei früheren Bauarten auch durch allmählich eintretende Verformungen. Wenn auch der Koks-kuchen bei der Entgasung schwindet, so kann er doch unter der Last der Kohlsäule im unteren Kammerteil zusammensacken, so daß der Wand-spalt unten eher enger ist als oben und auch bei glatter Wand eine Reibung zu überwinden ist. Bei der Retorte ist das Verhältnis Koks-gewicht zu Wandfläche ungünstiger als bei der Kammer, daher ist für die Retorte eine konische Bauart besonders erforderlich.

Die Konizität betrug bei Retorten in der Länge und Breite 20 mm und mehr, bis 30 mm je m Höhe. Bei den Kammern wäre infolge des höheren Kohlegewichtes im Verhältnis zum Umfang eine geringere Verjüngung des Kammeraufbaues zulässig gewesen, doch wurde zunächst die Konizität der Retorten mit etwa 20 mm je m Höhe in der Kammerbreite wie auch in der Tiefe übernommen und noch in der Zeit um 1925 wurden auch große Vertikalkammern in dieser Wand-neigung ausgeführt (Abb. 9). Dann zeigte sich aber das Bestreben, mehr Laderaum im gleichen Ofen unterzubringen, außerdem war es bei den neuzeitlichen Bauarten der Binderkammern u. dgl. (s. oben) nicht mehr im früheren Maße nötig, auf spätere Kammerdeformationen Rücksicht zu nehmen. Die Konizität wurde daher stark verringert, vor allem in der Tiefe, d. h. in der Breitansicht der Kammer, verschwand sie fast ganz oder auch völlig, während die Kammerbreite, also der kleinste Durchmesser, noch konisch blieb. Bei sehr gasreicher, stark schwindender Kohle ist eine völlig parallelwandige, nicht konische Kammer wohl auch möglich. Jedoch bei den jetzigen Anforderungen an die Koksqualität und dementsprechender Verwendung gut kokender, weniger schwinden-

der Kohlen oder Kohlenmischungen wirkt sich die Spaltbildung zwischen Kokskuchen und Kammerwand zumeist weniger aus und deshalb kann, um den Betrieb nicht durch Hängenbleiben der Kammern und dadurch bedingte Stoßarbeit unnötig zu erschweren, auf konische Bauart der Kammer im allgemeinen nicht verzichtet werden. Deshalb ist in neuerer Zeit eine Konizität in der Tiefe zwar bei manchen Bauarten vermieden,

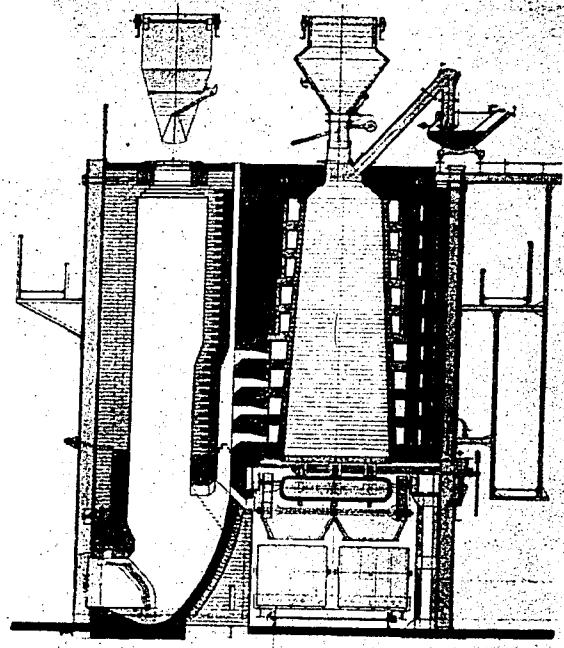


Abb. 9: Vertikalkammerofen System Pintsch.

in der Breite aber noch allgemein üblich. Der Grad dieser Konizität kann nach Lage der Betriebsverhältnisse verschieden zu empfehlen sein, sollte aber bei einer auf guten Verkaufskoks hinarbeitenden, also nicht stark schwindenden Kohlemischung auch nicht zu gering genommen werden. Üblich sind heute Neigungen von 20 bis 15 mm je m Kammerhöhe, aber auch weniger verjüngte Kammern, bis 8 mm je m-Höhe, werden gebaut.

Der kombinierte Vertikal-Horizontalofen. Der Gedanke der obenerwähnten, möglichst wenig verjüngten Kammer entsprang der Absicht, den durch die sonst übliche Verjüngung der Kammern oben im Vertikalofen entstehenden Totraum zur Erhöhung des Durchsatzes aus-

zunützen. Die nach oben zunehmende Verbreiterung der Heizkanäle bringt es u. U. mit sich, daß die Strömungsgeschwindigkeit der Feuergase geringer, also infolge längerer Aufenthaltsdauer der Heizgase der Wärmeübergang am Kopf zu groß wird. Dem kann zwar durch geeignete Regulierung oder durch kanalverengende Einbauten begegnet werden, aber es ist erklärlich, daß nutzbringendere Auswertung dieses beheizten Leerraumes immer wieder erwogen wird. Darauf beruht eine neue Sonderausführung der Deutschen Ofenbau-Ges.¹⁾, der kombinierte Vertikal-Schräg- bzw. Vertikal-Horizontalofen, der zugleich auch den

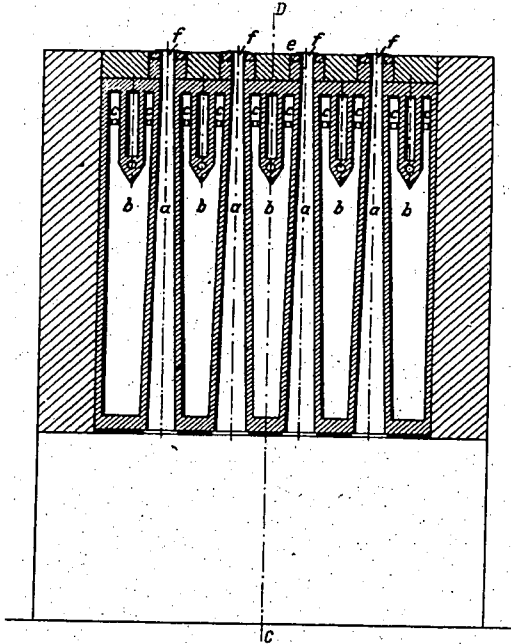


Abb. 10. DOG-Vertikal-Horizontalofen.

Gedanken des Pintsch-Bolz-Ofens wieder aufgreift, den Generator mit heißem, unsortiertem Koks zu beschieken. Diese Sonderbauart (Abb. 10) füllt etwa das oberste Viertel des sich erweiternden Heizraumes zwischen zwei Kammern aus durch Einfügung einer schmalen, niedrigen Horizontal- oder Schräkkammer, deren Koks mittels einer auf einer besonderen Bühne aufgestellten Stoßmaschine nach der entsprechend tiefer liegenden Generatorbühne hinausgestoßen und heiß dem Generator zugeführt wird. Der Generator ist so für die Heißfüllung ausreichend hoch. Diese Kleinkammern können mit einer gasreichen Kohle geringerer Koksfestigkeit beschiekt werden, während in den Vertikalkammern ein

hochwertigerer Verkaufskoks erzeugt wird. Auf diese Weise kann also z. B. ohne Kohlenmischanlage eine höhere Gasausbeute bei gutem Verkaufskoks erhalten, ferner die Möglichkeit gegeben werden, durch billige Förderkohle für den Unterfeuerungskoks die Kohlenkosten zu senken. Die Unterbringung und Förderung der zu trennenden Kohlenarten und ihre Verteilung auf die großen und kleineren Kammern erfordert natürlich besondere Einrichtungen oder Überwachung. — Der Durchsatz dieser Kleinkammern muß, da eine besondere Koksabtransportvorrichtung

¹⁾ Deutsche Ofenb.-Ges. DRP 620 931 und Zusatz-Patente.

dafür nicht vorgesehen ist, durch Anpassung der Ausstehzeiten dem Bedarf der Generatoren angepaßt werden.

Um für die Zwischenkleinkammern im nötigen Umfange Raum zu haben, scheint die Konizität mit 25 mm je 1 m Höhe etwas verstärkt zu sein (vgl. Konizität). Gegenüber dem Wortlaut des neueren Patents¹⁾ gab die ursprüngliche Patentanmeldung die vorerwähnten Punkte, Ausnützung des Zwischenraumes zwischen den Retortenköpfen unter Erhöhung der beheizten Kammerwandfläche je Ofen um 30—50% und die Heißkoks-Unterfeuerung als Hauptzweck an. Das neuere Patent hebt eine Reihe weiterer Möglichkeiten hervor, die teils wohl nur aus patentrechtlichen Gründen angeführt werden (z. B. Umleitungsmöglichkeiten aus den kleinen in die großen Kammern und umgekehrt u. a. m.), teils aber auch als besonderer Vorteil des Verfahrens hervorgehoben werden; zu letzteren gehört die ständige Wassergaserzeugung in den Kleinkammern. Eine solche ist bei reichlicher Bemessung der Kleinkammern gegenüber dem Koksbedarf der Generatoren denkbar. Dann kann aber ein Widerspruch insofern auftreten, als die Kleinkammern für eine genügende Wassergaserzeugung auf 900—1000° gehalten werden müssen, dann aber auch die Kammerköpfe der großen Kammern die gleiche Überhitzung erhalten. Ein Ausweg hieraus ist in der Möglichkeit der Verwendung reaktionsfähigerer Brennstoffe, z. B. Braunkohlenschwelkoks, gegeben, der bei einer Temperatur von 800° bereits eine gute Wassergasbildung ergibt²⁾.

Die Bauart dieses kombinierten Vertikal-Schräg- bzw. Vertikal-Horizontalofens stellt also eine bau- und heiztechnisch interessante Ausführung vor, die sich besonderen Anforderungen wird anpassen lassen. Eingehendere Betriebserfahrungen sind erst in nächster Zeit zu erwarten.

β) Die Beheizung der Vertikalöfen.

Der Generator. Vertikalöfen werden vorwiegend mit Schwachgas beheizt. (Starkgasbeheizung vgl. später.) Das Schwachgas wird in eingebauten Einzelgeneratoren für jeden Ofen gesondert oder in Zentralgeneratoren erzeugt. Hinsichtlich Zentralgeneratoren und deren technischer Durchbildung kann auf den diese behandelnden Sonderabschnitt verwiesen werden. — In der Zeit nach dem Kriege verbreitete sich unter dem Grundgedanken der Rationalisierung im Gasfach die Auffassung, daß der Zentralgenerator weitestgehend an die Stelle des Einzelgenerators treten müsse, um eine Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu erreichen. Wenn auch eine ganze Anzahl wesentliche Vorteile des Zentralgenerators nicht zu verkennen sind, so ist doch der Einzelgenerator für kleinere und mittlere Werke noch in den meisten Fällen vorwiegend geeignet. Eine Gebrauchsgrenze nach der Werksgröße kann nicht gezogen werden, da für

¹⁾ Deutsche Ofenh.-Ges. DRP 620 931 und Zusatz-Patente.

²⁾ Brennstoff-Chemie 18 (1937) S. 135.

die Entscheidung der günstigeren Gaserzeugerbauart nicht nur deren technischer Stand, sondern mehr noch verschiedene örtliche Betriebsverhältnisse und wirtschaftliche Überlegungen von großer Bedeutung sind. Die Auseinandersetzungen in der Fachpresse jener Zeit¹⁾, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden kann, nahmen oft einen sehr einseitigen Standpunkt ein. Es seien hier nur die von Fall zu Fall gegeneinander abzuwägenden Vorteile und Nachteile der beiden Bauarten gegenübergestellt.

Der Zentralgenerator hat den Vorteil, daß er eine günstigere Wärmebilanz des Generatorvorganges ergibt, den Brennstoff weitestgehend ausnützt und daß alle schwere Schlackarbeit wegfällt. Er liefert ein gleichmäßiges, staubfreies Gas, das in den Heizkanälen der Öfen keine Flugstaubverschmelzungen verursachen kann, also die Lebensdauer der Öfen erhöht. — Seine Nachteile bestehen in den höheren Anlagekosten und daraus folgendem höherem Kapitaleinsatz, dem laufenden Strom- und Wasserverbrauch und dem mit jeder zunehmenden Mechanisierung vermehrten Instandsetzungsaufwand, ferner in der Notwendigkeit einer ausreichenden toten Apparatereserve. Diese muß bei 3 Betriebsgeneratoren 33%, beim Arbeiten mit nur einem Generator 100% betragen, erfordert also im letzteren Falle im Verhältnis hohe Anlagekosten. Zu dem meist stark hervorgehobenen Vorteil der Verwendungsmöglichkeit minderwertigen, billigen Brennstoffs ist darauf hinzuweisen, daß solcher meist gar nicht in ausreichender Menge vorhanden ist; insbesondere für Koksgeneratoren fällt bei der heutigen allgemeinen Verbesserung der Koksqualität durch Kohlenauswahl und -mahlung wohl nirgends die von den Zentralgeneratoren beanspruchte Menge Perlkoks und Grus an. Daher darf dieser Vorteil billigen Brennstoffs nur dann voll in Rechnung gestellt werden, wenn die zusätzlichen Mengen zu entsprechend billigen Preisen beschafft werden können und mit dem angesetzten Preis auch auf lange Sicht zu rechnen ist.

Der Einzelgenerator hat für sich den Vorteil geringeren Platzbedarfes, großer Betriebssicherheit und Unabhängigkeit. Er nützt die fühlbare Wärme des Generatorgases aus und hat außer dem Schlacken keine wesentlichen Betriebskosten. Als Nachteil wurde immer besonders die Abhängigkeit vom Durchsatz guten, ausgegabelten Kokes hervorgehoben; dieser Vorwurf kann heute nicht mehr gelten, da es mehrere bewährte Ausführungen von Einzelgeneratoren gibt (vgl. später), die Kleinkoks, auch mit Grus, verarbeiten. Nachteile sind die je nach Bauart, Betriebsweise und Belastung verschiedene häufige und schwere Schlackarbeit, ein verhältnismäßig hoher Anteil an Brennbarem in der Schlacke, die Gefahr der Flugstaubverschmelzungen in den Heizkanälen, vor allem bei scharfem Generatorbetrieb, und, da nur die Oberluft vorgewärmt

¹⁾ Gas- und Wasserfach **63** (1920) S. 723; **67** (1924) S. 599; **69** (1926) S. 500.

wird, ein hoher Abhitzeverlust, der sich allerdings im allgemeinen in wirtschaftlicher Weise zur Abhitzedampfgewinnung verwerten läßt.

Der Einzelgenerator ist in dem Ofenblock fast immer so eingebaut, daß der Füllschacht bis zur Ladeflur der Kammern reicht und von dort aus bedient wird, der Rost ist in Höhe der Entladeflur zugänglich. Ausnahmen hiervon bilden der Pintsch-Bolz-Ofen (s. oben), bei dem der mit heißem Koks gestochte Generator ein Stockwerk unterhalb des Retorten- oder Kammerblocks bildet, und der kombinierte Vertikal-Horizontal- (bzw. Schräg-) Ofen der DOG (s. daselbst), dessen Generator nur bis zur halben Höhe reicht. In beiden Fällen ist die geringere Füllschachthöhe nicht nur baulich durch die Kokszuführungsmöglichkeit bedingt, sondern auch in der heißen Füllung begründet. Die bei der üblichen hohen Schachtbauart sehr große Füllhöhe ist für den Generatorwiderstand ohne Bedeutung, da hierfür nur die Höhe vom Rost bis zum Gasabgang in der Gegend der unteren Brenner in Frage kommt. Der Füllschacht dient nur dem Koksvorrat und der Vorwärmung des Kokses durch Einstrahlung von der Kammerseite und den beiderseits angrenzenden Rekuperationskanälen her.

Die Größenverhältnisse des Einzelgenerators gegenüber den Kammern sind beim Vertikalofen etwa folgende: Die nutzbare Höhe des Generators, also ohne Füllschachteinschnürung und Rostunterbau, ist etwa die gleiche bis 1,2fache der Kammerhöhe. Der Nutzinhalt des Generators beträgt etwa 80—100% eines zugehörigen Kammerinhalts.

Der Entwicklungsstand des Einbaugenerators zur Zeit des Baues der ersten Vertikalöfen entsprach den grundlegenden Arbeiten, die Hans Bunte in den Jahren 1877/79 zunächst an einem Schlitzgenerator mit schmelzender Schlacke, weiter an einem Steilrostgenerator mit Dampfzusatz ausführte, und die zu folgenden, heute noch gültigen Grundregeln führten¹⁾:

1. Koksverbrauch und Leistung steigen mit dem Zug — je nach Kokssorte verschieden stark.
2. Mit dem Zug steigen CO₂-Gehalt des Generatorgases und die Abgastemperatur, damit auch der Abgasverlust.
3. Als Schichthöhe der Füllung über dem Rost sind mindestens 60 cm nötig, 75 cm gelten als ausreichende Gesamthöhe.
4. Die Schlacken greifen das Generatormauerwerk um so mehr an, je dünnflüssiger sie werden.
5. Wasserdampfzusatz zur Unterluft, in den Grenzen von 0,49 bis 0,79 kg/kg C angewandt, beugt dem Schmelzen der Schlacke vor.

Diese Untersuchungen waren die Grundlage zu der seitdem allgemein gewordenen Einführung des nassen Generatorbetriebes mit Dampfzusatz, der auf ein Gemisch von Generatorgas und Wassergas arbeitet

¹⁾ Terres E., Gas- und Wasserfach 67 (1924); S. 255.

und deshalb auch Halbwassergasbetrieb genannt wird. Im Trockenbetrieb, ohne jeden Fremddampf- oder Wasserzusatz, arbeitet heute nur noch der Abstichgenerator, der mit hoher Windgeschwindigkeit auf flüssige Schlacke und ein möglichst CO-reiches Gas zugeht. Der Abstichgenerator ist nur in Sonderfällen üblich, teils als Aushilfsanlage für Gichtgaserzeugung oder auch in der chemischen Industrie.

Neumann setzte 1913 Generatorenversuche in der Weise fort, daß er die Gaszusammensetzung in den einzelnen Schichten und Höhenlagen prüfte, durch Entnahme von Gasproben mittels wassergekühlten, also Nachverbrennung verhütenden Proberohren. Er stellte fest, daß mit Zunahme der Entfernung der Schicht vom Rost der CO- und H₂-Gehalt zunächst zunahm und im gleichen Maße der CO₂ und H₂O-Gehalt abnahm und daß die Randgase verschlechtert sind. Er folgerte aus seinen Beobachtungen, daß sich das Wassergasgleichgewicht vollständig einstellt, während die Teilgleichgewichte, z. B. die Reduktion der CO₂ und des Wasserdampfes nicht zu Ende laufen. Als günstigste Wasserdampffuhr ermittelte er 0,4 kg Dampf/kg C-Durchsatz, als günstigste Schichthöhe ohne Wasserdampfzusatz 0,6 m, mit steigendem Wasserdampfzusatz um so höhere Schicht.

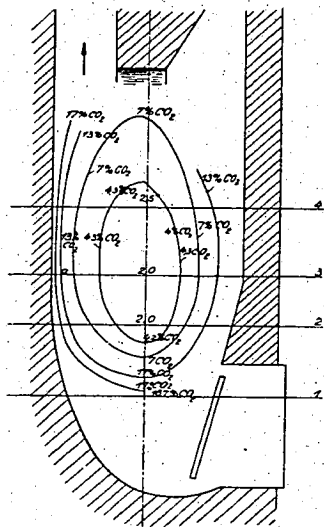
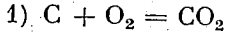


Abb. 11. Zonen gleicher Gaszusammensetzung im Einbaugenerator bei etwa 60 kg Reinkoks/m²/h.

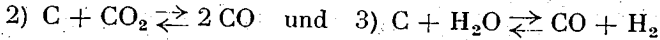
einem Planrostgenerator und einem Steilröstgenerator von 60° Rostneigung und weitere Versuche. Besonders aufschlußreich ist die von Terres gegebene Darstellung der zonenmäßigen Verteilung der Gaszusammensetzung im Steilröstgenerator (Abb. 11), die bei einer Gesamthöhe des Generators von Rostoberkante bis Gasabgang von 2 m und einem größten Schachtquerschnitt von 1,7 m² zeigt, daß die beste Gaszusammensetzung in etwa 70 cm über dem Rost zu finden ist. Diese Darstellung bricht vor allem mit der sehr verbreiteten Vorstellung, daß die Vorgänge im Generator schichtenweise übereinander gelagert seien. Auf die im Generator sich abspielenden Reaktionen, Gleichgewichte

¹⁾ Gas- und Wasserfach 67 (1924) S. 255; 71 (1928) S. 1205.

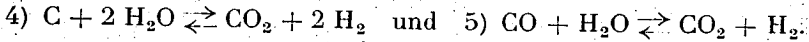
und Wärmetönungen, die an anderer Stelle ausführlich behandelt sind, soll hier nicht näher eingegangen werden. Es sei zur Erklärung der Abbildung nur kurz erwähnt, daß die nach Gleichung



gebildete Kohlensäure und der zugeführte Wasserdampf nach Gleichung



reduziert werden, wozu noch in geringerem Maße die Gleichungen hinzukommen



Die Reduktion nach 2) ist in der Kernzone des gezeigten Generators weitgehend erreicht. In der gleichen Zone ist bei normalem Dampfzusatz (bis 0,5 kg/kg C) auch die Reduktion nach 3) auf dem Höhepunkt, bei höherem Dampfzusatz kann sie sich infolge Temperatursenkung weniger vollenden. Mit fortschreitender Entfernung aus der günstigen Mittelzone im Generator tritt eine Verschlechterung des Generatorgases unter Wiederanstieg des Kohlensäuregehaltes ein, weil durch den Wärmeverbrauch der Reduktionsvorgänge und der teilweise zur Wirkung kommenden Reaktionen 4) und 5) die Temperatur im Brennstoffbett absinkt und dadurch Gleichung 2) wieder nach links verläuft. Außerdem geht die auch in den höherliegenden Zonen noch anhaltende Wasserdampfzersetzung bei sinkender Temperatur mehr auf $\text{CO}_2 + 2 \text{ H}_2$ über statt auf $\text{CO} + \text{H}_2$. Die gleiche Ursache, Temperaturrückgang, aber veranlaßt durch Abstrahlung der Schachtwände, bewirkt in den Randzonen einen CO_2 -Anstieg und damit die Randgasverschlechterung. Beim Zentralgenerator treten als randgasverschlechternd noch hinzu die höhere Windgeschwindigkeit, die am Generatormantel den freiesten Durchgang findet, sowie bei Wassermantelgeneratoren noch zusätzlich das größere Temperaturgefälle der Randzone durch die Mantelkühlung. Diese beiden Einflüsse entfallen beim Einzelgenerator, infolgedessen kann hier die Stärke der Randgasverschlechterung beeinflußt werden durch geeignete bauliche Maßnahmen. Solche liegen in der Berücksichtigung des Verhältnisses a) der freien zur gesamten Rostfläche und vor allem b) der Gesamtrrostfläche zum Schachtquerschnitt. Das Verhältnis der freien zur gesamten Rostfläche liegt um 0,2, und zwar bei dem im allgemeinen etwas weniger offenen Planrost unter 0,2 (z. B. bei Terres Versuchs-generator $0,148 \text{ m}^2 : 0,833 \text{ m}^2 = 0,178$), beim Steilrost über 0,2, beim Treppenrost im allgemeinen noch höher. Durch unzureichenden Dampfzusatz zusammenschmelzende, die Rostöffnungen verlegende Schlacke muß natürlich dieses Verhältnis nach der ungünstigen Seite beeinflussen. Das Verhältnis Gesamtrrostfläche zu Schachtquerschnitt veränderte Terres bei dem beobachteten Planrostgenerator durch Verengung des Schachtquerschnitts; die Rostfläche war $0,833 \text{ m}^2$, der Schachtquer-

schnitt anfangs 1,74 m², dann nach Umbau nur noch 1,39 m², das Verhältnis b) stieg damit von 0,46 auf 0,6. Es ergab sich eine wesentliche Verbesserung der Gasbeschaffenheit infolge relativer Zurückdrängung der Randgaszonen. Im Interesse guter Gaserzeugung soll also das Verhältnis der Gesamtrostfläche zum Schachtquerschnitt möglichst groß sein. Hierauf wird bei den Bauausführungen zurückgekommen. — Das von allen vorgenannten Forschern angegebene Maß von 60—75 cm günstigster Schachthöhe, d. h. eine bauliche Anordnung des Gasabganges 60—75 cm über der Rostoberkante, ist beim Einzelgenerator praktisch nicht zu verwirklichen, weil durch das Anwachsen der Schlacke dieses Maß sehr bald von unten beschnitten würde. Die Höhen von Rost bis Gasabgang betragen in den üblichen Ausführungen zwischen 1,2 bis 1,7 m und steigen auch bis über 2 m je nach Beanspruchung des Generators. Ein Generator mit starkem Durchsatz und weit auseinandergezogenen Schlackzeiten braucht mehr Nutzhöhe als ein normalbelasteter, in dem wenigstens in kurzen Abständen durch Aufbrechen oder Rütteln die Schlackenhöhe verringert wird. — So fand Terres, daß bei 48stündigem Schlacken des Versuchsgenerators der Durchsatz nur auf

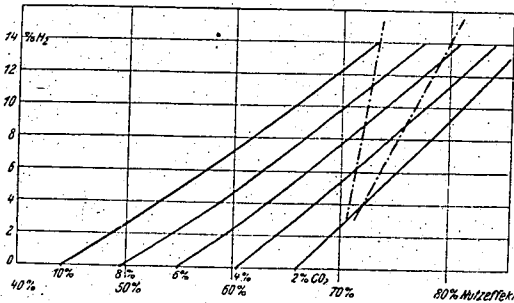


Abb. 12. Generatornutzeffekt in Abhängigkeit von der Gaszusammensetzung (bez. auf 11°).

42 kg C/m²/h gebracht werden konnte, ohne die Gasgüte wesentlich zu verschlechtern, während bei 24stündigem Schlacken 84 kg C/m²/h durchgesetzt werden konnten.

Der Wasserdampfzusatz bewirkt hinsichtlich der Gasleistung des Generators keine Heizwerterhöhung, wohl aber eine Steigerung des Nutzeffekts des Gaserzeugers. Während bei trockenem Generatorbetrieb die Gasbeschaffenheit

und der Wirkungsgrad am besten ist bei niedrigstem CO₂-Gehalt, bedingt andererseits beim nassen Betrieb die Steigerung des H₂-Gehalts nach den genannten Reaktionen gleichzeitig eine gewisse Steigerung des CO₂-Gehalts. Terres zeigte (l. c.) (Abb. 12) rechnerisch die Abhängigkeit des (auf den unteren Heizwert bezogenen) Generator-Nutzeffektes von der Gaszusammensetzung; daraus ist zu ersehen, daß der Nutzeffekt bei hohem H₂-Gehalt trotz hohem CO₂-Gehalt höher sein kann, als bei niedrigem CO₂- und H₂-Gehalt. Die praktisch vorkommenden Gaszusammensetzungen liegen zwischen den punktierten Linien. Die Erhöhung des H₂-Gehalts im Generatorgas hat noch den weiteren Vorteil, daß der Zweitluftbedarf im Verhältnis zum Erstluftbedarf höher wird, also die Vorwärmung der Verbrennungsluft eine größere Wärme-

rückführung in den Ofen mit sich bringt als beim Generatorbetrieb ohne Dampf. — Die theoretische Verbrennungstemperatur steigt ebenfalls mit zunehmendem H_2 - und abnehmendem CO_2 -Gehalt des Generatorgases. Die hierzu von Terres (l. c.) gegebene Darstellung (Abb. 13) zeigt, daß die bei den praktisch vorkommenden Gaszusammensetzungen (zwischen den punktierten Linien) erzielten Verbrennungstemperaturen in einem verhältnismäßig engen Raum liegen, bei hohem H_2 -Gehalt allerdings durch gleichzeitig hohen CO_2 -Gehalt merklich gedrückt werden können.

Die oben begründete Forderung Terres, daß die Güte der Generatorgaszerzeugung vor allem auch durch bauliche Beeinflussung der Strömungs- und Temperaturverhältnisse und Vermeidung toter Randzonen gesteuert werden muß, findet sich in der neuzeitlichen Ausbildung der Einbaugaserzeuger vielfach angewandt und bestätigt. Die geschweifte, eine untere tote Ecke vermeidende Form der Generatorrückwand ist eine diesem Sinne entsprechende, bereits lange empirisch erprobte Ausführung. Vor allem aber findet das obenerwähnte möglichst große Verhältnis der Gesamtrostfläche zum Generatorschachtquerschnitt, sowie eine möglichst günstige Höhe der Gasabführung weitgehende Berücksichtigung.

Der Planrost allein wird wegen seiner geringen Zugänglichkeit kaum noch verwendet. Der Vergrößerung der Rostfläche der Steilroste sind gewisse Grenzen gesetzt vor allem in der Höhe, weil dann die Ausführung bei genügender Standfestigkeit zu schwer werden muß. — Eine sehr günstige Form der Rostvergrößerung ist der mehrfach angewandte (Didier, DOG) kombinierte Plantreppenrost (Abb. 14), bei dem alle Roststäbe gut zugänglich sind und sich zuverlässig entschlacken lassen. Gegenüber dem bei Terres Versuchen erwähnten Verhältnis Rostfläche zu Schachtquerschnitt = 0,6 kommen Generatoren mit Plantreppenrost in verschiedenen ausgeführten Anlagen auf die Verhältniszahl 1,0—1,5. Dadurch, daß der Planrost des kombinierten Rostes bis an die Generatorrückwand reicht, ist auch ohne starke Ausschweifung dieser Wand (siehe oben) die Bildung eines toten, von der Strömung unberührten Winkels vermieden und eine volle Ausnützung des für den Generatoreinbau verfügbaren Raumes möglich. Außerdem ist erreicht, daß praktisch alle Teile der sich darüber in Richtung auf den Gasabgang gestaltenden Reak-

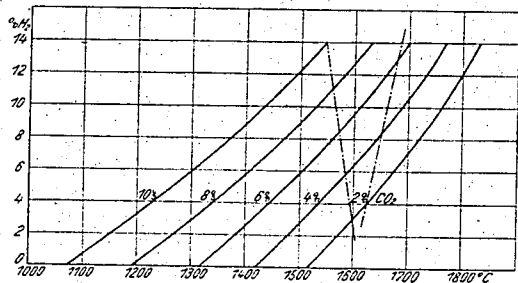


Abb. 13. Theoretische Verbrennungstemperaturen von Generatorgasen verschiedener Zusammensetzung.

tionszonen in möglichst gleichem Abstand vom Rost wie vom Gasabgang liegen, wodurch eine weitgehend gleichmäßige Verteilung der Strömung und Temperatur und damit der Gasbildung erhalten wird. Einen ähn-

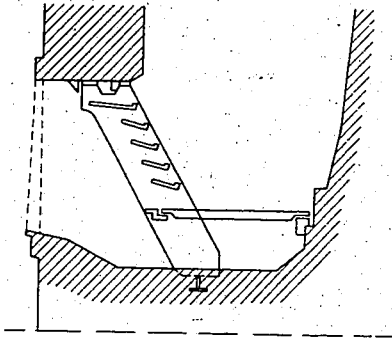


Abb. 14. Plantentreppenrost.

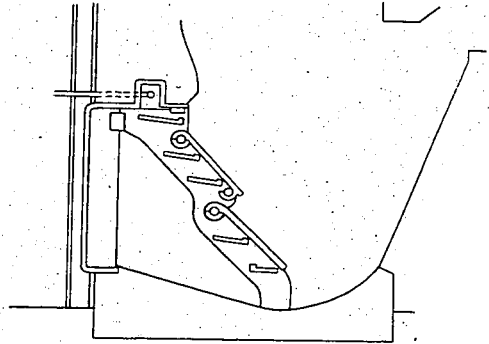


Abb. 15. Treppensteilrost.

lichen Erfolg erreicht der kombinierte Treppensteilrost (Dr. Otto, Abb. 15), dem noch oberhalb des Rostes eine Dampfverteilung eingebaut ist. — Noch weitgehender entspricht der erwähnten Forderung die Bauart des

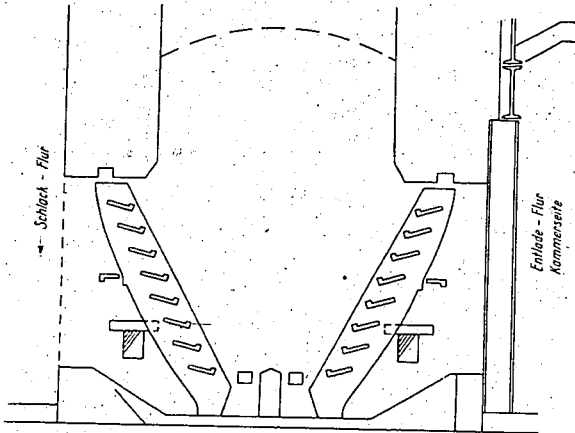


Abb. 16. Doppeltreppenrost.

Doppelrotes. Der Doppeltreppenrost (Klönne,¹⁾ Abb. 16) hat die eine Schlacktür, wie üblich, nach der Rekuperationsseite, eine gleiche zweite nach der Entlade flur der Kammerseite. Die Bedienung dieses Doppel-

¹⁾ Klönne, DRP 617231.

rosten ist je nach der Belastung verschieden; der kammerseitige Rost kann entweder nur zum zeitweisen Auflockern, Aufbrechen oder Entfernen größerer Schlackenmengen verwendet werden oder er wird durch regelmäßige Bedienung gleich dem vorderen Hauptrost ständig offen gehalten. Bei dieser Bauart erreicht das Verhältnis Rostfläche zu Schachtquerschnitt den hohen Wert 1,5—1,7. Der aus Treppensteilrosten bestehende Doppelrost Dr. Otto (Abb. 17) verwendet kammerseitig einen Rost halber Höhe, da dieser Rost eine sehr günstige freie Rostfläche hat.

Bei gemischter Körnung der Generatorfüllung besteht die Gefahr eines Abrollens der größeren Bestandteile nach außen, also einer Entmischung, die zur Folge hätte, daß die Strömung in den Randzonen weniger Widerstand fände und dadurch in mehrfacher Hinsicht die Randgasverschlechterung bewirkt würde. Deshalb wird — in verschiedener Einzelausführung — in dem Generatorschacht auch ein Verteilereinbau dicht

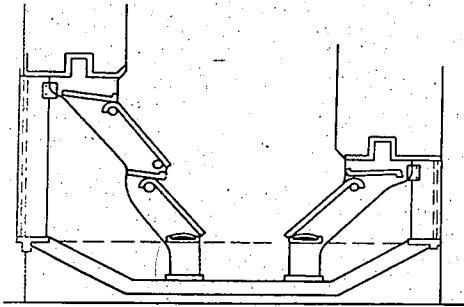


Abb. 17. Doppeltreppensteilrost.

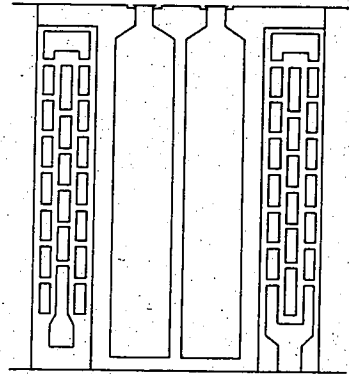


Abb. 18. Doppelgenerator.

oberhalb des Gasabganges angeordnet, der den Zweck hat, den Brennstoff kurz vor seinem Eintritt in die Reaktionszonen nochmals umzulagern (Abb. 20).

Je größer die Rostfläche im Verhältnis zum Schachtquerschnitt und damit die Dauer der Schlackearbeit ist, desto länger und stärker wirkt sich die durch Falschlufzutritt während dieser Zeit unvermeidliche Gasverschlechterung aus. Um dem vorzubeugen, wird bei größeren Generatoren eine senkrechte Teilung von Schacht und Rost vorgenommen (Didier, DOG u. a.) (Abb. 18), also statt eines Generators ohne Veränderung des Verhältnisses Rostfläche zu Schachtquerschnitt, zwei Generatoren von halber Größe betrieben, die auf einen gemeinsamen Oxydkanal arbeiten. Solange der eine geschlackt und dessen Gas dadurch verschlechtert wird, ist der nebenliegende Generator im normalen Betrieb und der Ofen behält durch Zuführung nur teilweise verschlechterten Heizgases eine immerhin gleichmäßigere Beheizung.

An den Einbaugenerator ist beiderseits die Rekuperation zur Vorwärmung der Zweitluft angebaut. Von der Überlegung ausgehend, daß zur Erwärmung der Zweitluft auch eine geringere als die übliche Rekuperatorfläche ausreicht (vgl. später unter Abhitze), benutzt die DOG¹⁾ (Abb. 19) unter Verzicht auf einen Teil dieser Rekuperatorfläche den dadurch freiwerdenden Raum zu einer Erweiterung des unteren Teils des Generatorschachtes und zugleich des Rostes, um bei gleichem Gesamtdurchsatz die Rostbelastung zu ermäßigen bzw. ohne Erhöhung der Rostbelastung den Durchsatz steigern zu können.

Der Durchsatz des Generators wird in $\text{kg/m}^2/\text{h}$, auf die gesamte Rostfläche bezogen, angegeben. Eine Norm für Durchsatzgrößen kann nicht

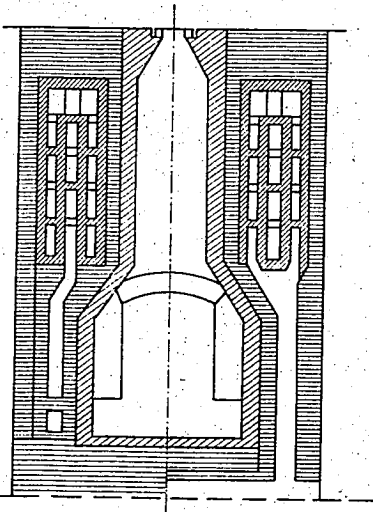


Abb. 19. Verbreiteter Generator DOG.

festgestellt werden, da sie in verhältnismäßig weiten Grenzen schwankt, je nach der Größe des Generators im Verhältnis zum Ofen, nach der Rostbauart und der Größe und Sortierung der Körnung und dem Aschegehalt und der Zündfähigkeit des Brennstoffs, ferner bei dem einzelnen Ofen wieder je nach der Ausstehzeit der Kammern. Als Anhaltspunkt kann aber die Belastungszahl 40—80 $\text{kg/m}^2/\text{h}$ dienen.

Wenn auch beim nassen (Halbwassergas-) Betrieb immer von Dampfverbrauch gesprochen wird, erfolgt dieser doch nur bei größeren Anlagen oder bei Sonderbauarten (vgl. nachstehend) durch Dampfzuleitung. Meist üblich ist die Dampferzeugung im Generator selbst durch Verdampfung des Berieselungswassers der Roste und des Wassers in dem untergebauten Wasser-schiff. Eine Dampf-mengenbestimmung ist bei dieser Zusatzform praktisch nicht durchführbar und die Mengenregelung ergibt sich ganz erfahrungsmäßig aus der Beobachtung des Generator- und Schlacken-zustandes. Fremddampfzuführung ist nur angebracht, wenn solcher als Überschußdampf oder sonst billig zur Verfügung steht oder wenn durch seine Anwendung wirtschaftliche Betriebsvorteile anderer Art erzielt werden können. — Bei Zuführung von Fremddampf, gegebenenfalls überhitzt, sind Mengen von 0,4 bis 0,5 kg je kg durchgesetzten Kohlenstoff oder Reinkoks üblich.

Besondere Beachtung verdienen, wie erwähnt, die Generatoren, die die Verarbeitung des meist schwer oder nicht absetzbaren Kleinkokes

¹⁾ Deutsche Ofenb.-Ges. DRP 640943.

(Perlkoks und gegebenenfalls auch Teile vom Grus) gestatten und dadurch nicht nur die Unterfeuerungskosten verbilligen, sondern auch wertvollen Grobkoks zum Verkauf frei machen und damit auch kleineren Werken, für die ein Zentralgenerator nicht in Frage kommt, dessen wirtschaftliche Vorteile zu ermöglichen. Der Grundgedanke dieser Kleinkoksgeneratoren ist der, daß bei dem meist besonders aschereichen, nassen dichtliegenden Material alles vermieden werden muß, was den Generatorwiderstand insgesamt oder örtlich erhöhen und dadurch die Gasbildung in der Güte oder Menge oder in beidem ungünstig beeinflussen würde. In diesem Sinne nachteilig wirken ungleiche oder zu starke Rostberieselung oder nasser Dampfzusatz, ferner zu starke Rostbelastung, die leicht zu örtlichen Durchbrüchen oder örtlichen Schlackenbildungen führt. Örtliche Durchbrüche bringen gleichzeitig die Gefahr mit sich, daß durch die auf schmalen Wege entsprechend größere Strömungsgeschwindigkeit viel Koks- und Aschestaub mitgerissen wird. — Als Beispiel seien folgende erwähnt:

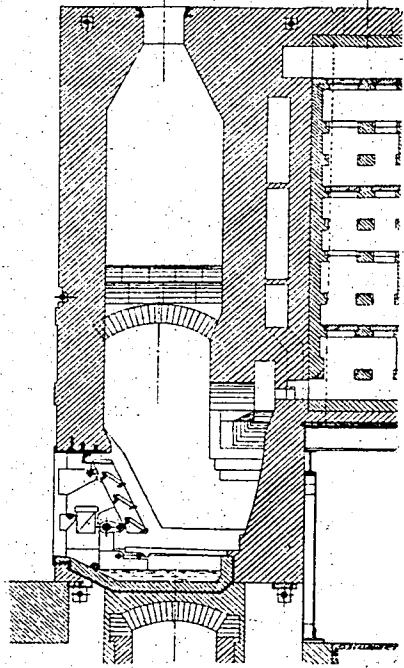


Abb. 20. Kleinkoksgenerator Didier.

1. Von Didier-Kleinkoksgeneratoren arbeitet eine Bauart¹⁾ (Abb. 20) mit kombiniertem Treppenplanrost besonderer Ausführung und sieht zugleich in der beiderseits benachbarten Rekuperation den Einbau eines Dampferzeugers vor und einer Überhitzung sowohl für den Dampf wie für die Erstluft. Der Rost hat eine Rüttelvorrichtung zum Lockern der Schlacke. — Eine andere Bauart²⁾ hat innengekühlten Steilrost mit gleichmäßiger Außenberieselung und dementsprechend gleichmäßiger Verdampfung.

2. Eine Bauart der Silamitwerke³⁾ arbeitet mit möglichst großem unberieseltem Treppenrost und Dampfzusatz und verarbeitet sogar Perlkoks mit Grus gemischt.

3. Besonders geeignet für Kleinkoks über 5 mm sind auch der

¹⁾ Didier, Schweiz. P. 132252.

²⁾ Didier, DRP 552174; Gas- und Wasserfach 75 (1932) S. 710.

³⁾ Dubois E., Gas- und Wasserfach 75 (1932) S. 921.

vorerwähnte Doppelrostgenerator von Klönne¹⁾, sowie der DOG-Generator mit verbreiterem Schachtunterteil.

Auch schwaches Unterwindgebläse wird für diese Bauarten bei hohem Generatorwiderstand durch dichte Brennstofflagerung angewandt.

Bei sachgemäßem Betrieb ist mit diesen Bauarten auch aus den minderwertigen Brennstoffen ein Wirkungsgrad von 70% und mehr zu erreichen.

Die Ofenbeheizung. Das den Einbaugaserzeuger heiß verlassende Schwachgas wird im allgemeinen auf dem kürzesten Wege unmittelbar dem oder den Brennern zugeführt, wo es mit vorgewärmter

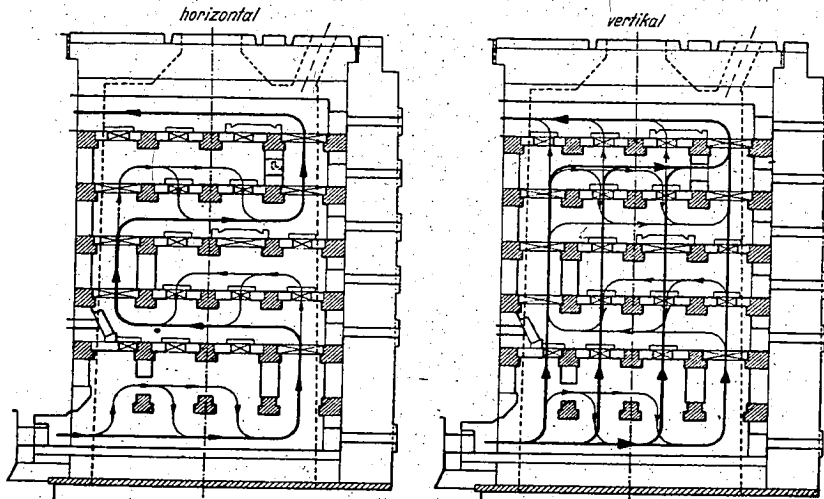


Abb. 21. Verbrennungseinrichtungen in den Heizzügen eines Vertikalkammerofens Devog.

Zweitluft verbrannt wird. Neuerdings erscheinen auch Bauarten, die das Gas zunächst in einem steigenden Kanal hochführen und dann in abfallendem Kanal parallel zu den von oben kommenden Oberluftkanälen herableiten.

Die Dessauer Vertikalofen-Gesellschaft hat im Gegensatz zu allen anderen Vertikalofen-Bauarten von Anfang an an der Beheizung mit nur einem Brenner festgehalten und erreicht durch eine wahlweise Vereinigung der vorhandenen senkrechten und waagerechten Strömungswege, sowie durch Einbau von Stauwänden, Vorsatzmulden u. a. m. jede notwendige Wärmeverteilung und eine durchaus gleichmäßige Kammerbeheizung. Eine anfangs zur Sicherheit im 3. Kanal eingebaute Zuführung von Nachverbrennungsluft hat sich als überflüssig erwiesen und

¹⁾ Klönne, DRP 617231.

wird neuerdings weggelassen. Abb. 21 zeigt die durch Schieber wahlweise umlegbaren Strömungswege in den Heizzügen eines Dessauer Vertikalkammerofens. Die mehr oder weniger starke Freigabe der senkrechten oder waagerechten Wege richtet sich nach der Höhe und Länge der Kammer und anderen Betriebsgründen. Nach einmaliger Einregulierung genügt für Gesamtänderung der Temperaturlage (z. B. bei Änderung der Chargenzeit) die Änderung von Zug und Gasmenge.

Die weiteren Bauarten (Pintsch, Klönne, DOG u. a.) verwenden durchweg mehrere Brenner, mindestens 2—3, auch mehr je nach der Höhe des Ofens und verteilen die Flamme durch Einregulierung und gegenseitige Abstimmung der Brenner. Der Gedanke der geteilten Zuführung ist bei einzelnen früheren und neueren Öfen so weit durchgeführt, daß jeder waagerechte Heizzug einen Brenner erhält.

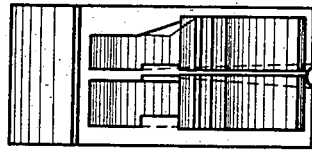
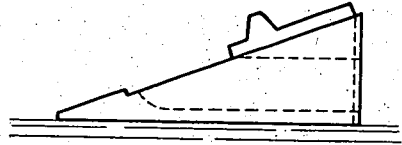


Abb. 22. Brennerstein (Otto).

Senkrechte Heizzüge mit Anordnung der Brenner im Sohlkanal haben sich bei unterbrochen arbeitenden Vertikalöfen nicht einführen

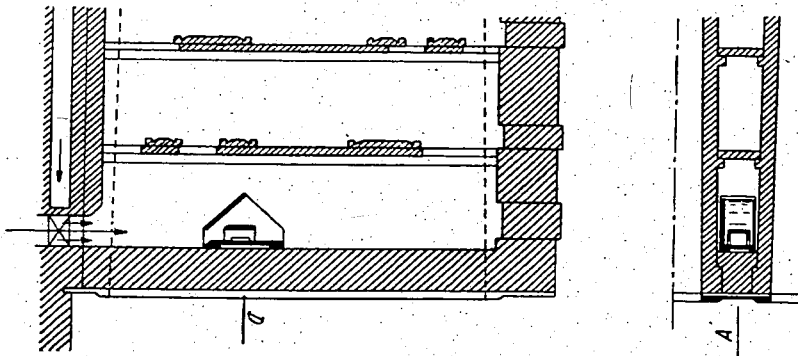


Abb. 23. Leitstein (Didier).

können, da sie für diese Bauart technisch ungeeignet und für die Regulierung schwer zugänglich sind.

Die Ausbildung des Brenners ist im allgemeinen so, daß Luft- und Gaseintrittsöffnungen dicht neben- oder übereinander angeordnet sind und evtl. noch durch vorgesetzte Muldensteine eine Streckung, durch

Prellsteine eine Wirbelung des Gas-Luftgemisches bewirkt wird. Neue Wege geht einerseits ein Brennerstein (Dr. Otto¹⁾, der Gas und Luft je für sich mit einem durch Innenführung erzeugten Drall austreten läßt, und durch einen einfachen Schrägschieber regelt (Abb. 22); andererseits ein an Stelle des wirbelerzeugenden Prellsteins tretender sog. Leitstein (Didier²⁾, (Abb. 23). Dieser ist strömungstechnisch durchgebildet und

gestattet eine einfachere Anpassung der Heizgasführung je nach der Kammerlänge, als der Prellstein, da er zugleich mischend und die Flamme führend wirkt.

Entgegen der obenerwähnten Verteilung mehrerer Gas-Luftbrenner auf der ganzen Kammerhöhe greift neuerdings Klönne wieder den (z. B. von Still bei der Horizontal-kammer angewandten) Gedanken der verzögerten oder stufenweisen Verbrennung auf³⁾. Rein baumäßig ergibt sich der Vorteil einfacherer Kanalführung, da nur eine kurze Gaszuführung zum unteren Brenner (wie bei Einbrennerbeheizung, s. oben) und keine parallelen Gas- und Luftkanäle nötig sind. Außer der Luftdüse am Hauptbrenner sind zwei weitere Luftzuführungen bis

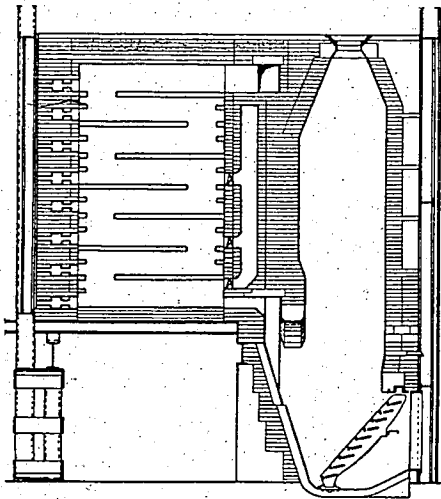


Abb. 24. Vertikalkammerofen mit verzögerter Verbrennung (DRP. 526 078).

zur halben Kammerhöhe verteilt für Nachverbrennung angeordnet. Diese Ausführung soll eine besonders gleichmäßig verteilte Temperatur des Koks-kuchens gewährleisten (Abb. 24).

Eine besondere Art, nicht der Beheizungszuführung, sondern der Wärmeverteilung auf den Kammerinhalt bringt Klönne in seiner »Kammer mit kaltem Kopf⁴⁾ (Abb. 25). Bei dieser Bauart werden die oberen 15—20% der gefüllten Kammerhöhe gar nicht beheizt; dieser obere unbeheizte Kohlenteil rutscht nach etwa $\frac{2}{3}$ der Ausstehzeit infolge Schwindens des unteren Koks-kuchens nach, um in dieser Zeit noch eine vorübergehende Heizwertsteigerung zu ergeben. Dadurch soll ferner ein längeres Offenhalten der Teernaht nach oben erreicht werden, auf welchem Wege hochwertige Gasbestandteile vor Zersetzung geschützt bis oben abwandern, und ein nicht überhitzter Gasabgangsraum, der auch

¹⁾ Dr. Otto u. Co., DRP 507 414.

²⁾ Didier, DRGM 1365 742.

³⁾ Klönne, DRP 526 078.

⁴⁾ Klönne, DRP 628 192.

nach Herabrutschen der Kopfladung eine Gaszersetzung verhindert. Diese Anordnung kann dazu führen, den beheizten Teil bis oben hin nicht abklingend, sondern ziemlich stark beheizt zu halten; um den nachrutschenden Kopf noch auszugaren; dadurch würde der vorgenannte Zweck geringerer Gaszersetzung u. U. wieder gestört.

Die Gasabgänge des Einbaugenerators arbeiten, wie erwähnt, auf einen gemeinsamen Gaskanal, der alle Brenner eines Ofens versorgt, oder der Gaskanal ist je Ofenhälfte unterteilt. Bei Fremdgaszuführung von der Zentralgeneratorenanlage her ist, um den Vorteil der weitgehenden Regelmöglichkeit des Ofens voll auszunützen, eine solche Anordnung erwünscht und im allgemeinen üblich, daß für

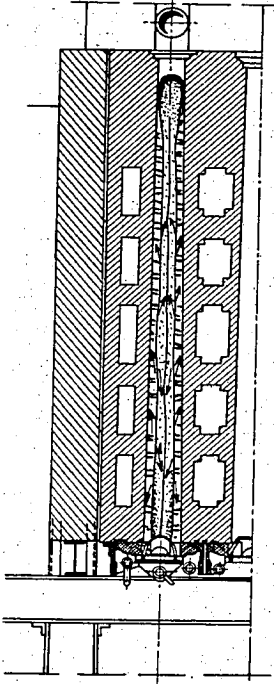


Abb. 25. Kammer mit kaltem Kopf (Klönne).

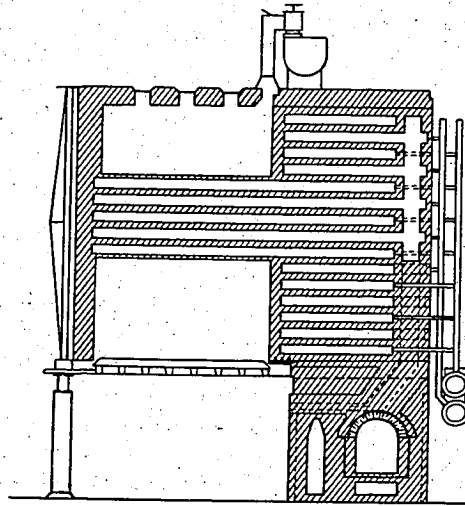


Abb. 26. Vertikalkammerofen (Dr. Otto).

jeden Heizraum zwischen zwei Kammern — für 1 bis mehrere Brenner übereinander — eine gesonderte Gaszuführung durch einen mit Skala versehenen Hahn eingebaut ist.

Eine grundsätzlich andere Verteilungsform der Beheizungszuführung bringt der Vertikalofen Dr. Otto für große Ladungen (Abb. 26). Er stellt im Grundgedanken einen um 90° gekanteten, hochgestellten Horizontal-kammerofen dar, der die sonst waagrecht unter der Kammer angeordneten Brennerzuführungen an der ganzen Ofenrückseite von unten bis oben verteilt trägt. Der Ofen ist nur für Fremdgasbeheizung vorgesehen

und es kann nicht nur das Gas, sondern auch die Luft mit Druck zugeführt werden. Letztere wird dann, um ein besonderes Gebläse zu sparen, von dem Gebläse für die Generatorunterluft abzweigelt. Die Luft kann aber ohne Änderung der Anordnung auch vom Ofen angesaugt werden. Die Regelung an den einzelnen Abzweigstellen erfolgt durch Hähne mit leicht auswechselbaren Blenden oder durch eine Art von Kegelventilen. Die für jeden Schwachgas- und Luftabzweig getrennten Kanäle führen jeweils zwischen zwei Rauchgaskanälen entlang an die Längswand der Kammer und an dieser parallel zurück. Die infolge dieser weitgehenden, einzelrekuperativen Aufteilung im Einzelkanal sehr geringe Strömungsgeschwindigkeit erreicht einen sehr guten Wärmeaustausch. — Um diese großen Kammereinheiten an Betriebsschwankungen leichter anpassen zu können, ist es möglich, den Ofen mit durchgehender senkrechter Trennwand zwischen je 2 Kammern auszuführen, zur Zweiteilung der Heizgasführung und wahlweise verschieden starken Beheizung verschieden lange ausstehender Kammern, oder zur stärkeren Beheizung einer Kammer zwecks stärkerer Kammerdampfung.

Die Wärmerückgewinnung. Die möglichst weitgehende Rückgewinnung des durch die gleichmäßige Beheizung der ganzen Vertikal-kammer bedingten hohen Wärmeinhaltes der Abgase ist nicht nur wärmewirtschaftlich notwendig, sondern auch zur Erzielung hoher Flammentemperaturen wichtig (vgl. bei Starkgasbeheizung). Diese wird bei ausreichender Vorwärmung um etwa 700—800° und mehr gesteigert.

In der Wärmerückgewinnung werden grundsätzlich 2 Arten unterschieden, die allgemein üblich mit Rekuperation und Regeneration bezeichnet werden.

In der Rekuperation wird die Rauchgaswärme in ständigem Wärmefluß durch die Wandungen der Rauchgaskanäle auf den benachbarten Luft- bzw. Gasstrom übertragen. Grundsätzlich geschieht dies im Gegenstrom, weil es auf die Temperaturhöhe der Luftvorwärmung ankommt und bei Gleichstromvorwärmung die Luft höchstens die Rauchgas-Abgangstemperatur erreichen kann, im Gegenstrom aber der Rauchgas-Eingangstemperatur nahekommen kann. Der Wärmefluß des Rekuperators ist ständig gleichgerichtet durch die Trennwand der Kanäle. In der Regeneration finden die Rauchgaswärmeabgabe und die Luft- bzw. Gaserwärmung abwechselnd im gleichen Raume statt, deshalb wird auch der Regenerator als einräumiger Luffterhitzer bezeichnet, gegenüber dem zweiräumigen Rekuperator. Die Austauschräume des Regenerators sind zur Erreichung großer Wärmeaustauschflächen möglichst weitgehend mit Gittersteinen besetzt, die Stromrichtung der wechselnden Medien ist grundsätzlich gleichgültig, sie kann gleich- oder entgegengerichtet sein. Der Wärmefluß in der Oberfläche der Gittersteine ist dem Wechselbetrieb entsprechend ständig wechselnd. Sehr umfassende theoretische Durchrechnungen und formelmäßige Dar-

stellungen dieser 2 Wärmegegewinnungsarten gibt W. Heiligenstädt¹⁾. Im Gasfach ist der Rekuperation weitaus der Vorzug gegeben worden. Dies ist wohl vorwiegend in deren einfacherem, keinerlei Bedienung erforderndem Betrieb begründet, der mindestens für kleine und mittlere Werke einen wesentlichen Vorteil bedeutet. Die größeren Einheiten der Kokereien haben die Regeneration vorgezogen, zumal ihre Einrichtung und Bedienung bei dem an sich weitergehend mechanisierten Betrieb keine Erschwerung bedeutete. Die Frage Regeneration oder Rekuperation ist, vor allem im Wettbewerb der Firmen, oft sehr einseitig behandelt worden. Es ist z. B. nicht richtig, einen mit Einzelgenerator beheizten Ofen hinsichtlich der Wärmeabgabe seiner Rauchgase zu vergleichen mit einem fremdgasbeheizten Ofen²⁾, da bei ersterem nur die Luft vorgewärmt wird, bei letzterem Luft und Gas, also mindestens die doppelte Raummenge. Exakte Vergleichsversuche sind praktisch kaum möglich, da sie zwei gleiche, gleichbelastete, dazu gleichaltrige Ofen voraussetzen, die sich nur durch die Form der Wärmerückgewinnung unterscheiden. Von den wenigen vorhandenen Versuchszahlen sind die auf gründlichen Betriebsversuchen beruhenden Berechnungen von Terres und Beske hervorzuheben³⁾, die neben der Wärmedurchgangszahl die Wärmeausnützung der Rauchgase erfaßten. Bei einem Generatordurchsatz von rd. 120 kg/h und einem Mengenverhältnis von 1 m³ Generatorgas (Einzelgenerator) = 1,74 m³ Rauchgas wurde etwa 1/3 der Rauchgaswärme von der Luft aufgenommen. Dieser Satz von 33,8% «Wirkungsgrad der Rekuperation» entspricht Versuchszahlen des Gasinstituts bei Abnahmeversuchen in Berliner Werken, die 35—37% Wirkungsgrad (Wärmeabgabe) zeigten. Diese Ausnützung wird als nicht ausreichend und als verbesserungsfähig bezeichnet, wobei Verbesserung durch Vergrößerung der Wärmeübertragungsflächen zu erreichen sei (Terres, l. c.). Es wird aber darauf hingewiesen, daß ein höherer Wirkungsgrad der Wärmeabgabe als etwa 50% bei alleiniger Luftvorwärmung nicht möglich ist. Bei obigem Verhältnis Luft zu Rauchgas 1:1,74 und den spezifischen Wärmen 0,32 für Gas und 0,36 für Rauchgas folgt:

$$\frac{1,0 \cdot 0,32}{1,74 \cdot 0,36} \cdot 100 = 51\%.$$

Die übliche ältere Bauart der Rekuperation mit Kanälen von verhältnismäßig breitem Querschnitt, früher aus einfachen Platten, neuerdings mit Nut und Feder, aber doch in erheblicher Steinstärke ausgeführt, darf nicht mit einer neuzeitlichen Regeneration verglichen werden, für die Wirkungsgrade von 65 bis 70% (Wärmestelle Düsseldorf), bei Gas-

¹⁾ Heiligenstädt, Regeneration, Rekuperation, Winderhitzer. 1. Aufl. Leipzig 1931.

²⁾ Gas- und Wasserfach 62 (1919), S. 381.

³⁾ Gas- und Wasserfach 72 (1929), S. 417, 447, 466.

und Luftvorwärmung, angegeben sind. Ein weiterer Nachteil der alten Plattenrekuperation war die Gefahr der mit dem Alter zunehmenden Undichtheit an den Fugen und durch Risse, die zu stärkerer Luftverdünnung des Rauchgases und dadurch zu noch unvollkommenerem Wärme-

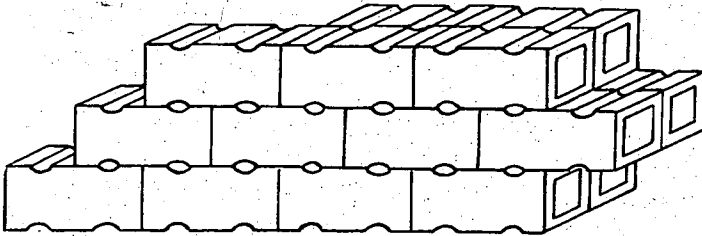


Abb. 27. Röhrenrekuperator Pintsch-Hermansen.

austausch führte. Einen demgegenüber stärkeren Wärmeaustausch ergibt die Röhrenrekuperation. Röhrenkacheln wurden schon früher verwendet (Pintsch-Hermansen¹⁾)

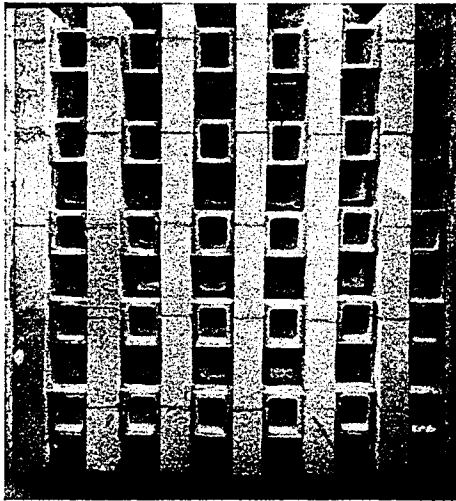


Abb. 28. Röhrenrekuperator, Bauansicht.

und ergaben gute Wärme- und Raumaussnützung, sowie stabile Bauart. Da aber bei dem Hermansen-Rekuperator das eine Mittel durch die Kachel, das andere mit Hilfe von Querrillen zwischen je 2 Kacheln geleitet, also beide nur durch eine geschwächte Wandstärke getrennt waren (Abb. 27), war Undichtheit durch Ribbildung ebenso möglich. Die jetzt übliche Röhrenrekuperation (z. B. Bauart Didier) (Abb. 28), vermeidet diese Gefahr, indem dünnwandige Vierkant-Röhrenkacheln mit versetzten Fugen (Abb. 29) ineinandergemauert werden und so selbst bei etwaigem Reißen einer Kachel eine Undichtheit praktisch ausgeschlossen ist, wie sich in jahrzehntelangem Betrieb praktisch erwiesen hat.

Trotz der Doppelwand ist die Wandstärke mit 40 mm geringer als bei Plattenrekuperationen mit 70 mm. Im übrigen sind als Röhrenrekuperation Ausführungen verschiedener Röhrenkachelformen in Anwendung.

¹⁾ Gas- und Wasserfach 49 (1906) S. 1113.

Die Röhrenrekuperation bedeutet im Sinne der Forderung Terres auf Vergrößerung der wärmeübertragenden Flächen einen wesentlichen Fortschritt. Während 1 m^3 Ofenraum, mit Plattenrekuperation ausgebaut, etwa $4,5 \text{ m}^2$ Heizfläche hat, läßt die Röhrenrekuperation in $1 \text{ m}^3 = 10 \text{ m}^2$ unterbringen, wobei der Wärmeübergang je m^2 noch wesentlich höher

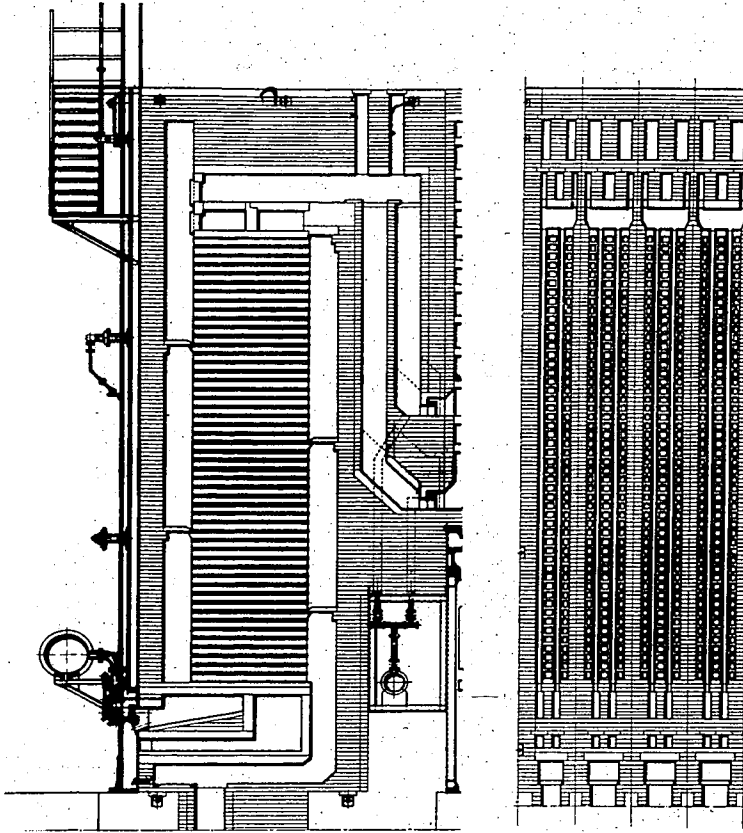


Abb. 29. Röhrenrekuperator (Didier).

ist als bei Plattenkanälen. — Über die Wärmeaustauschfläche von Regeneratoren werden keine genauen Angaben gemacht, sie ist auch je nach Ausbildung der Gittersteine verschieden. Die Regeneration enthält aber an Fläche je m^3 meist ein Mehrfaches der normalen Plattenrekuperationen, auch mehr als eine gute Röhrenrekuperation enthalten kann. Ein besonderer Vorteil der Regeneration ist auch, daß sie eine größere absolute Höhe der Vorwärmung erreichen kann; die Menge

der Wärmeabgabe vom Rauchgas kann auch bei dem Rekuperator nötigenfalls durch zusätzlichen Einbau an Heizfläche erhöht werden, die Temperaturhöhe des vorgewärmten Gases muß aber mindestens um den Wärmeübergangsverlust der Rekuperatortrennwand niedriger sein als die des wärmenden Gases; in der Regeneration ist durch den unmittelbaren Austausch eine höhere Temperatur der Vorwärmung möglich. Diese Vorteile der Regeneration dürfen nicht verkannt werden; sie zeigen, daß das sehr verbreitete Vorurteil gegen die Regeneration zumindest für größere Anlagen nicht berechtigt ist. — Ein Nachteil der Regeneration ist ein gewisser Gasverlust beim Umstellen.

Die Rekuperation ist bei Öfen mit Einbaugenerator beiderseits des Generators angeordnet. Bei fremdgasbeheizten Öfen wird der durch Wegfall des Einbaugenerators freiwerdende Raum zum Einbau der erforderlichen Gasvorwärmung neben der Luftvorwärmung ausgenützt. Bei nicht unbedingt dichter Bauart der Wärmeaustauschkanäle empfiehlt es sich, nicht Luft- und Gaskanäle unmittelbar nebeneinander kommen zu lassen, sondern Luft- und Gasvorwärmung strangweise getrennt anzuordnen.

Bei Fremdgasbeheizung, also Gas- und Luftvorwärmung, und Anordnung einer ausreichenden Röhrenrekuperation ist eine fast restlose Ausnützung der Abhitze bis auf 300—320° Kamintemperatur möglich. Ist aber bei Einbaugeneratorbeheizung nur die Luft vorzuwärmen, so ist eine hohe Abgastemperatur an sich unvermeidlich. Auf deren Ausnützung zur Dampfgewinnung ist später noch zurückzukommen.

Über die Größe der für einen Ofen notwendigen Wärmeaustauschfläche liegen wenige Angaben vor. Für Rekuperativöfen bewegt sie sich in der Größenordnung von etwa 4 m²/t Tagesdurchsatz bei Einzelgeneratorbeheizung und etwa 8—9 m²/t/Tag bei Gas- und Luftvorwärmung. Bei Regenerativöfen werden etwa 15—18 m²/t Tagesdurchsatz eingebaut.

Die in anderen Industriezweigen wegen ihres hohen Wirkungsgrades versuchten Rekuperatoren aus hitzebeständigem Stahl haben sich in Gaswerken noch nicht eingeführt und dürften bei den vorliegenden Verhältnissen infolge der hohen Anlagekosten keine Wirtschaftlichkeit erreichen.

Starkgasbeheizung. Außer der Schwachgasbeheizung ist die Beheizung mit Starkgas-Schwachgasgemisch oder mit Starkgas allein möglich und beim Vertikalofen günstig einzurichten. Die Wirtschaftlichkeit der Starkgasverwendung ist durchaus örtlich zu beurteilen und es kann hierzu auf die sehr umfassenden Sonderbearbeitungen von Stief¹⁾ verwiesen werden. Meist wird der Starkgaszusatz in wechselnder Höhe zum Mengenausgleich der Gas- bzw. Kokerzeugung bei gleichbleibender Ofenbelastung verwandt. — Den ersten Versuch des Starkgaszusatzes zum Einbaugenerator machte Geipert durch Einführung einer Stark-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 73 (1930) S. 1177; 78 (1935) S. 965; 80 (1937) S. 114.

gasleitung am oberen Ende des Treppenrostes (Abb. 30). Auf diesem Wege konnten bis 50% der Beheizung durch Starkgas gedeckt werden. Das Verfahren hat allerdings den Nachteil, daß die hochwertigen Bestandteile des Starkgases in der Generatorfüllung zerschlagen, das Starkgas entleuchtet wird und die dabei entstandenen Graphitniederschläge wieder vergast werden müssen. Es wird dadurch wärmewirtschaftlich unzulänglich, da der im Starkgaszusatz enthaltene Heizwert dem Ofen nicht voll zugeführt wird und zudem noch die Temperatur der Generatorfüllung durch die Zersetzung des Starkgases gesenkt wird.

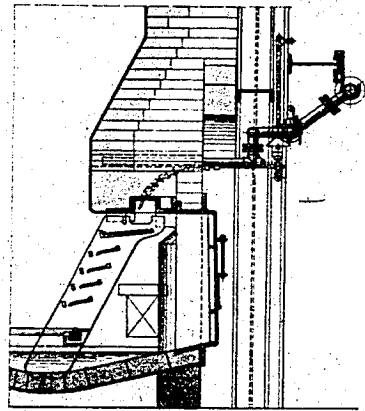


Abb. 30. Starkgaszusatz nach Geipert.

Über die brenntechnischen Unterschiede von Schwach- und Starkgasen hat Stief (l. c.) eingehende Übersicht gegeben, woraus zur Kennzeichnung folgende Zahlen hervorzuheben sind:

Zahlentafel 1.

Nr.	Gasart	Verbr.- Wärme	Heiz- wert	Bei 20% Luftüberschuß beträgt				
				Luft- bedarf m ³ /m ³ Gas	Rauchgas- menge		Theoretische Flammentemp.	
				m ³ /m ³ Gas	m ³ /1000 Gas	keal	ohne Vorw.	800° vor- gewärmt
1	Generatorgas	1222	1160	1,16	1,96	1,69	1550°	2300°
2	Kohlengas	4697	4168	5,16	5,85	1,40	1870°	2580°
3	Stadtgas, Mischgas	4239	3768	4,55	5,22	1,39	1880°	2540°
4	Mischung von 20 Vol.-% Kohlengas, 80 Vol.-% Generatorgas	1915	1765	1,96	2,74	1,55	1700°	2380°
5	Mischung von 40 Vol.-% Kohlengas, 60 Vol.-% Rauchgas	1880	1160	2,07	2,67	1,78	1530°	2300°

Aus diesen Zahlen geht zunächst hervor, daß — wenigstens bei kleinen Mengen von Starkgaszusatz zu Generatorgas — die Erhöhung von Luftbedarf und Heizwert sich etwa ausgleichen, also wesentliche Umstellungen der Oberluft bei kleinen Änderungen nicht nötig sind. Weiter aber ist ersichtlich, daß bei Alleinverwendung der höherwertigen Gase das Flammenvolumen kleiner, die Flammentemperatur (ohne Einfluß der Dissoziation gerechnet) höher ist, also der Heizeffekt an sich günstiger sein muß durch geringeren Abgasverlust. Diese kürzere, heißere Flamme des Starkgases erfordert aber, um die Ofenkammern ebenso gleichmäßig zu beheizen wie mit Schwachgas, besondere Maßnahmen,

entweder durch mechanische Verteilung oder Streckung der Flamme oder durch Streckung des Starkgases selbst mittels Zusatz inerte Bestandteile (Rauchgas oder Wasserdampf). Ohne Streckung durch solche Zusätze darf Starkgas nicht zur Vorwärmung durch die übliche Rekuperation oder Regeneration geleitet werden, da in dieser die gleiche

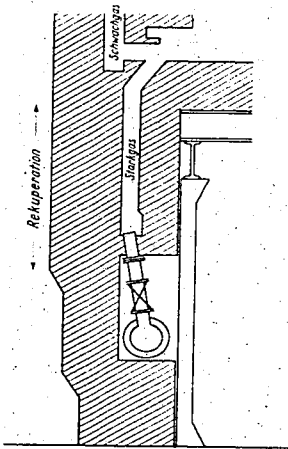
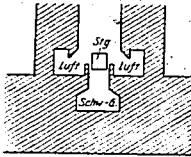


Abb. 31. Starkgasbrenner (Didier).

Verkrackung eintreten würde, wie vorstehend beim Zusatz in den Einzelgenerator erwähnt. — Die Starkgaszuführung ohne Vorwärmung und ohne Beimischung oder nur mit wenig Erstluftzusatz unmittelbar auf der Kammerseite ist entsprechend den Brenneranordnungen der einzelnen Ofenbauarten verschieden. — Die Devog-Einbrennerbeheizung benutzt auch für Starkgas eine in den üblichen Brenner auf kürzestem Wege zugeführte und daher keiner Überhitzung oder Krackung ausgesetzte Zuleitung mit außenliegendem Regulierhahn¹⁾ (Abb. 31). Ein Vertikalkammerofen mit 5 Kammern zu 3 t wurde längere Zeit im Gaswerk Duisburg hiermit nur starkgasbeheizt, wozu natürlich einige Umstellungen in der früher erwähnten Brenner- und Schieberanordnung notwendig wurden, um die straffere, heißere Flamme zu strecken und die Beheizung gleichmäßig zu verteilen. Bei stoßweiser Änderung der Starkgasmenge ist es an Stelle dieser Verwendungsform wegen der damit verbundenen Änderungsarbeit einfacher, das Starkgas dem Zentralgenerator-Schwachgas zuzusetzen, was bis zu 50% des Heizwertinhaltes ohne Nach-

stellung der Öfen möglich war. Auch die Luft-

schieberstellung blieb in diesen beiden Fällen praktisch unverändert.

In neuerer Zeit wird ein Dr.-Otto-Vertikalkammerofen (Potsdam) mit drei übereinanderliegenden Brennern und für Gas und Luft zweigeteilter Rekuperation allein mit Starkgas beheizt (Abb. 32). Die in diesem Falle nicht benötigte Gaszuleitung und -vorwärmung wird mit für den größeren Luftbedarf verwendet, so daß aus den üblichen Schwachgas-Luft-Brennersteinen (s. oben) beiderseits stark vorgewärmte Luft austritt; die Starkgaseintritte liegen zu je zwei nebeneinander über vorgenannten 2 Luftaustritten. Zu jeder dieser Gasdüsen führt eine getrennte Starkgaszuleitung, also 6 Zuleitungen für einen Heizraum zwischen zwei Kammern. Da in den durch heißes Mauerwerk führenden Starkgas-

¹⁾ Dess. Vert.-Of.-Ges. DRP 502536.

kanälen, besonders zu den höherliegenden Brennern, etwas Verkrackung nicht zu vermeiden ist, wird je Brenner immer nur eine Zuleitung für Starkgas benutzt, während durch die andere wenig Luft zum Ausbrennen hindurchstreicht. Nach gewisser Zeit werden durch Umschalten eines einfachen Zweiwegehahnes die anderen 3 Starkgaszuleitungen eingeschaltet und die erstgebrauchten zum Ausbrennen belüftet. Das Starkgas erhält zur teilweisen Entleuchtung etwas Erstluftzusatz.

Bei Zentralgeneratorgas-Beheizung kann, wie erwähnt, ein wesentlicher Anteil Starkgas dem Schwachgas vor der Vorwärmung beigemischt werden. Bei Zusatz von 20 Vol.-% Starkgas, d. i. etwa 50% Heizwertanteil, ergeben sich die in Zahlentafel 1, Ziffer 4 angeführten Zahlen. Die hiernach gegenüber Generatorgas bereits ersichtliche Verminderung des Rauchgasvolumens und gleichzeitige Erhöhung der Flammentemperatur machten sich bei dieser Zusatzhöhe im Betrieb bereits durch im Brennerkanal verschärfte Temperatur bemerkbar.

Bei höheren Starkgaszusätzen zum Schwachgas oder bei Alleinverwendung des Starkgases mit Vorwärmung und ohne Änderung der Brenner und Schieber ist, wie angegeben, eine Streckung des Starkgases mit Inerten nötig. Dafür können verwendet werden: Luft, Rauchgas

oder Wasserdampf. Obwohl für die Luft-Starkgasmischung bei den in Frage kommenden Mischungsverhältnissen an sich keine Bedenken bestehen, da sie oberhalb der Explosionsgrenzen bleiben, so liegt doch dann eine gewisse Gefahr vor, wenn bei irgendwie verursachtem Ausbleiben der Gaszufuhr die Vorwärmung sich mit Luft füllt; es muß bei diesem Gemisch betriebsmäßig gewährleistet sein, daß bei Ausbleiben der Gaszufuhr auch die Luftzufuhr selbsttätig abgesperrt wird.

Die Grenzen wärmetechnischer Gleichwertigkeit zwischen Starkgas-Rauchgas- und Starkgas-Wasserdampfgemisch hat Stief (l. c.) durch

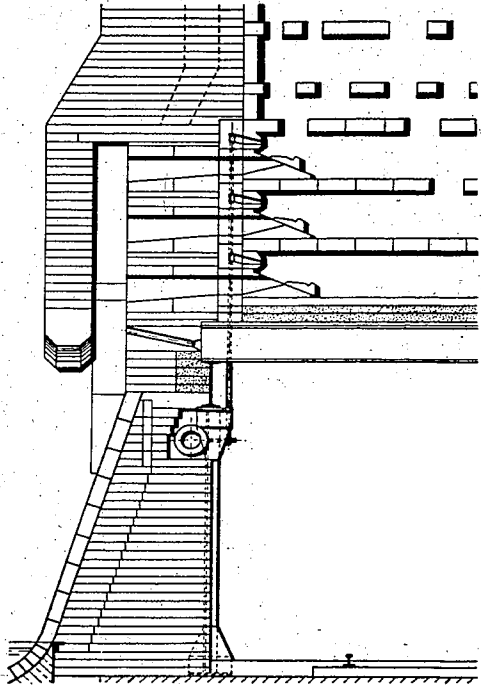


Abb. 32. Starkgasbrenner (Dr. Otto).

eingehende Berechnungen dahingehend ermittelt, daß z. B. bis etwa zu $\frac{2}{3}$ Kohlengaswärme im Gasgemisch einer Wasserdampf-Sättigungstemperatur von 65° bedürfen (Abb. 33). Bei Vorhandensein billigen Abdampfes oder Überschußdampfes ist dies betrieblich sehr einfach, abgesehen von der notwendigen Anordnung gut isolierter Dampf- bzw. Gas-Dampfgemischleitungen, da dem Niederschlagen des zugesetzten Dampfes vorgebeugt werden muß. Rauchgasbeimischung ist am günstigsten, wenn das Rauchgas mit hoher Temperatur vom Eingang der Rekuperation entnommen wird, mindestens aber vom Ausgang der Rekuperation. Für den äußersten Fall, Verwendung von Starkgas nur mit

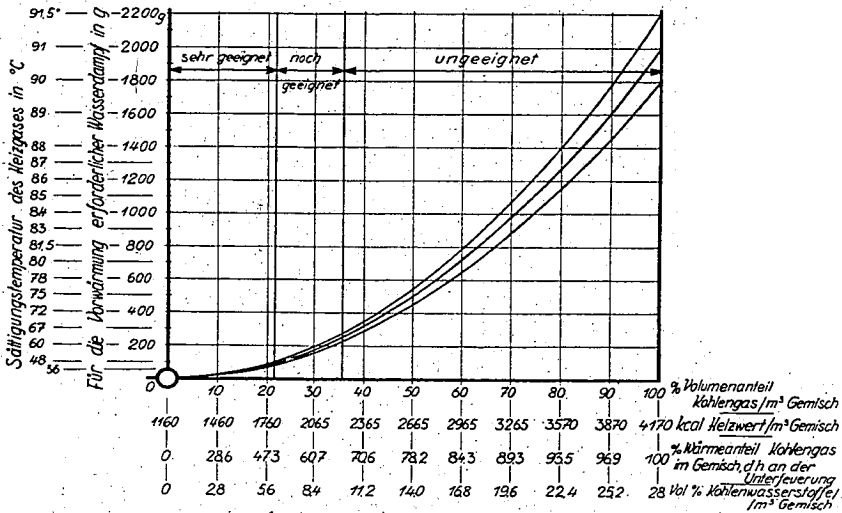


Abb. 33.

Rauchgas vorgewärmt, ohne Schwachgaszusatz, ergeben sich für die Mischung von z. B. 40 Vol.-% Starkgas + 60% Rauchgas aus den obenstehenden Unterlagen für den Fall von 20% Luftüberschuß die Zahlen von Ziffer 5 der Zahlentafel 1. Dieses durch Rauchgas gestreckte Starkgas ist also dem Generatorgas in allen wesentlichen Zahlen praktisch gleichwertig, hat sogar noch etwas größeres Flammenvolumen, also eine längere Flamme, welche eine normale Verteilung der Kammerbeheizung gewährleistet.

Die Abhitzeverwertung. Wird ein Ofen mit Schwachgas aus einem Einbaugenerator beheizt, so kann, wie erwähnt, nur die Luft vorgewärmt werden, bei Zentralgenerator-Schwachgasbeheizung Gas und Luft. Geht man von dem in Zahlentafel 1 (S. 41) gegebenen Beispiel der Generatorgasbeheizung mit betriebsüblichem Luftüberschuß von

20% aus, so ergibt sich überschlägig je m^3 unterfeuertes Generatorgas:

- Verfügbarer Wärmeinhalt der $1,96 \text{ m}^3$ Rauchgas zwischen der Rekuperatoreingangstemperatur 950° und der mindestnotwendigen Schornsteintemperatur $250^\circ = 700 \cdot 0,34 \cdot 1,96 = 465 \text{ kcal je m}^3$ Generatorgas;
- Wärmeaufnahme von 1 m^3 Generatorgas bei Vorwärmung von 20 auf $800^\circ = 780 \cdot 0,36 \cdot 1,0 = 280 \text{ kcal}$;
- dgl. für $1,16 \text{ m}^3$ Luft $= 780 \cdot 0,32 \cdot 1,16 = 290 \text{ kcal}$.

Die Größenordnung zeigt, daß bei rekuperativem Einzelgeneratorbetrieb etwa die Hälfte der verfügbaren Wärme nicht ausgenützt werden kann, wogegen bei regenerativer Fremdgasbeheizung eine volle Ausnützung bei ausreichender Erhitzerfläche praktisch erreichbar sein muß.

Die in der Gasindustrie überwiegende Form des rekuperativen Einzelgeneratorofens hat daher schon lange zu Versuchen geführt, diese nicht erfaßte Wärmemenge zur Dampferzeugung nutzbar zu machen. Hierzu sind verschiedene Wege möglich und probiert worden. Die baulich einfachste und oft gebrauchte Form, an den Fuchs einer Ofengruppe einen Abhitze-kessel für das gesamte Rauchgas anzuschließen, hat den Nachteil, daß wegen der bereits erniedrigten Abgastemperatur und der meist durch unvermeidbare Undichtheiten in Rekuperation

und Fuchs durch Falschlufztutritt vermehrten Abgasmenge so große Kesselheizflächen angewandt werden müssen, daß der Dampfgeinn nicht im Verhältnis steht zu den Anlagekosten. Geipert ging deshalb nach 1920 dazu über, den überschüssigen Rauchgasanteil sofort am Ausgang der Rekuperation abzuzweigen und in einem an der Rekuperationsseite entlangführenden, ausgemauerten Abgasrohr zu dem möglichst nahe erstellten Abhitzekessel zu führen. Mit der damaligen Ausführung

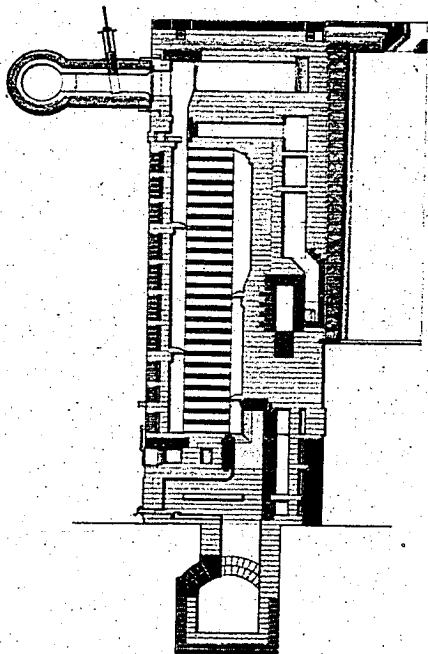


Abb. 34, Abhitzeabführung nach Geipert (Didier).

wurde an einem Vertikalkammerblock¹⁾ bei einer Unterfeuerung von 15% Reinkoks/Reinkohle eine Dampferzeugung von etwa 1,5 t Dampf je t durchgesetzten Reinkoks erreicht. Abb. 34 zeigt eine neuzeitliche Ausführung dieser Geipertschen Anordnung in Verbindung mit Röhrenrekuperation (Didier). Der Schieber am Rauchgasabzweig gestattet unter Beobachtung der Rauchgastemperatur am Fuchs die Einstellung auf günstigste und wirtschaftlichste Verteilung der Abhitze; in besonders gelagerten Betriebsfällen kann auch eine Mehr-Dampferzeugung auf Kosten erhöhter Unterfeuerung erhalten werden.

Eine Sonderanordnung der Abhitzedampferzeugung, die auch bei kleineren Einheiten und Einzelöfen lohnend ist, ist der am Fuße der Rekuperation eingebaute Rauchröhrenkessel unter dem Generator (DOG)²⁾ (Abb. 35) oder neben dem Generator (Didier)³⁾ (Abb. 36).

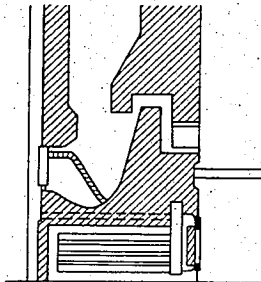


Abb. 35. Abhitzekessel unter Generator (DOG).

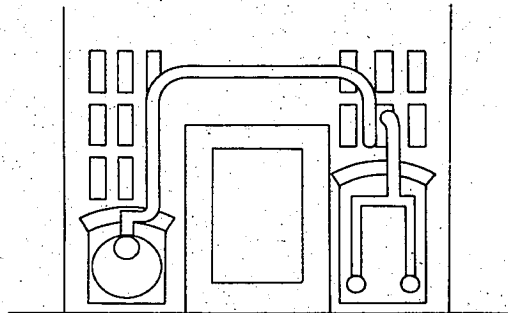


Abb. 36. Abhitzekessel in Rekuperation (Didier).

Er ist als Niederdruckkessel mit ausziehbarem Röhrenbündel und möglichst angeschlossener Überhitzerschlange imstande, mindestens den Dampfbedarf des Ofenbetriebes zu liefern und ist in kleinen Werken häufig in Gebrauch.

Der Gedanke der teilweisen Rauchgasabzweigung wurde neuerdings von der D. Ofenbau-Ges. wieder aufgenommen und mehrfach ausgeführt⁴⁾. Hierbei ist durch eine senkrechte Teilung der Rekuperation durch eine Trennwand und durch Einbau von Steinschiebern in jedem Zug des Rekuperators, sowohl in der senkrechten Wand, wie in den waagerechten Abdeckungen, die Möglichkeit gegeben (Abb. 37), die Rauchgase durch die ganze Rekuperation ab- und wieder aufwärts zu führen oder schon ein oder mehrere Stockwerke höher umzulenken oder auch mit dem gesamten Rauchgas vom ersten Rauchgaszug un-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 67 (1924) S. 599.

²⁾ D. Ofenb.-Ges. DRP 423555.

³⁾ Didier, Schweiz. P. 132252.

⁴⁾ D. Ofenb.-Ges. DRP 582629.

mittelbar zum Abhitzekessel zu gehen. Ein vom Gasinstitut untersuchter Ofen dieser Bauart, aber mit Generatoren, die mit glühendem Koks gestocht wurden, ergab die gute Leistung von rd. 3 t Dampf je t Reinkoksdurchsatz. Zahlen dieser Art sind allerdings nicht rein zahlenmäßig zu vergleichen, sondern nur unter Mitberücksichtigung des Generatorbetriebes, der Ausstehzeit und Belastungsstärke der Kammern u. dgl. Auch mit diesem Verfahren ist es möglich, wahlweise die günstigste notwendige Wärmeausnutzung in der Rekuperation bei noch möglichst großer Abhitzedampferzeugung einzustellen oder auch je nach den örtlichen Betriebsverhältnissen eine mehr oder weniger verstärkte Dampferzeugung zu erreichen, die selbstverständlich nach Überschreitung eines für den betreffenden Ofen geltenden Grenzwertes auf Kosten erhöhter Unterfeuerung oder irgendwelcher Wärmevorgänge im Ofen gehen muß. Wenn auch grundsätzlich der Gaserzeugungsofen keine Dampfkesselvorfeuerung sein soll, so kann doch in manchen Fällen mit ungeeigneten oder unzureichenden sonstigen Dampferzeugungseinrichtungen eine Spitzendeckung des Dampfbedarfs durch vorübergehende Mehrunterfeuerung wirtschaftlicher sein, als jede andere Lösung.

Ein Hauptunterschied der beiden Verfahren, der wahlweisen Mengenabzweigung und der wahlweisen Umlenkung in der Belastung des Abhitzekessels. Das letztere Verfahren schickt immer die gleiche Rauchgasmenge mit gegebenenfalls verschiedener Eintrittstemperatur durch den Kessel, das erstere schickt bei praktisch gleicher Eintrittstemperatur von Fall zu Fall wechselnde Rauchgasmengen hindurch. Ein Betrieb, der mit Vollausnutzung der ganzen Rauchgaswärme rechnen will, muß in beiden Fällen die gleiche Kesselheizfläche bereitstellen, die dann bei geringerer Beschickung durch unternormales Temperaturgefälle im einen, durch unternormale Strömungsgeschwindigkeit im anderen Falle, nicht voll ausgenutzt wird. Ist grundsätzlich nur die Verwertung der Überschuwärme beabsichtigt, so wird der Abhitzekessel für die heißabgezweigte kleinere Rauchgasmenge im allgemeinen eine geringere Bemessung zu lassen.

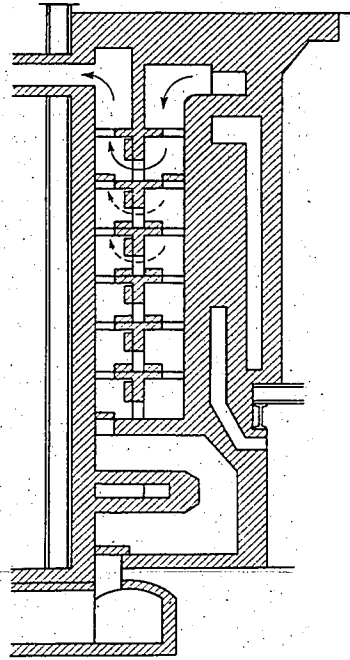


Abb. 37. Abhitz abzweigung (DOG).

Die Strahlungsverluste des Vertikalofens. Bei den ersten Vertikalretortenöfen war, zumal sie als alleinstehende Versuchsofen gebaut waren, die Unterfeuerung unbefriedigend hoch infolge großer Strahlungsverluste, und es wurde fortlaufend mit der Vergrößerung und wärmewirtschaftlichen Überwachung und Durchbildung der Vertikalöfen auf Verbesserung der Isolierung großer Wert gelegt, besonders in neuerer Zeit. Es ist daraus aber nicht zu schließen, daß der Vertikalofen hinsichtlich der abstrahlenden Oberfläche eine besonders ungünstige Bauart darstellt. Vielmehr bietet er infolge des verhältnismäßig geringeren Anteils an nicht schützbaeren Armaturen und bei der gutschützbaeren Kammervorderwand und Rekuperation gute Voraussetzungen für Einbau oder zusätzliche Anbringung von Isolierungen.

Eine interessante Gegenüberstellung über die strahlenden Flächen verschiedener Ofentypen gibt Dubois¹⁾, woraus folgende Zahlen für die in der Reihe eines Blocks stehenden Öfen (Mittelöfen) hier kurz zusammengestellt sind.

Zahlentafel 2.

Ofenart	t/Einheit	Ausstehzeit h	t/Tag u. Ofen	Strahlungs- oberfläche in m ² /t/Tag	Anteil der Armaturen in % dieser Fläche
Durchgehende 9er Horizontal-Retorte					
3,5 m lang	0,395	9	9,4	8,3	11,4
desgl. 4,5 m lang	0,540	9	13,0	6,3	10,9
4er Horizontal-Kleinkammern 4 m lang	1,350	10	13,0	5,6	14,4
5er Vertikalkammern	1,60	12	16,0	7,7	6,3
6er » 	3,0	12	36,0	4,8	7,1
6er » 	6,0	24	36,0	6,0	7,8
Horizontal-Koksöfen			t/Tag u. Kammer		
350 mm breit	8,14	12	16,3	2,4	—
450 » » 	20,50	20	24,9	2,0	—

Diese Zahlen zeigen, daß unter den üblichen Gaswerksöfen der Vertikalofen keine ungünstigeren, in großen Einheiten offenbar bessere Voraussetzungen hinsichtlich der Gesamtabstrahlungsfläche bietet, besonders aber ist der erwähnte geringere Anteil der Armaturen ersichtlich. Für die Horizontalalkoksöfen der Kokereien und Großgaswerke ist der Vergleich der Gesamtfläche je t Durchsatz viel günstiger, doch muß bei diesen wegen der großen Kammertüren mit einem Armaturenanteil von etwa 30—40% der Gesamtfläche gerechnet werden.

Nächst der Größe der abstrahlenden Oberfläche ist deren Temperatur für die Höhe der gesamten Abstrahlung entscheidend. Diese

¹⁾ Gas- und Wasserfach 77 (1934) S. 556.

Oberflächentemperatur hängt einerseits von der Arbeitstemperatur des Ofens ab, wird also bei 12stündigen Öfen höher sein als bei 24stündigen, anderseits von dem Grade der schon vorhandenen Isolierung und dem Material der Oberfläche (Eisen oder Mauerwerk).

Als wertvolle Ergänzung zu Vorstehendem sind aus Versuchen der Technischen Hochschule Zürich an verschiedenen Ofenanlagen¹⁾ die folgenden Angaben über die Gesamtstrahlungsverluste dieser Anlagen zu entnehmen:

Zahlentafel 3.

Ofenbauart	l/Kammer	Ausstehzeit h	Oberflächentemperatur		Strahlungsverluste % der Gesamtwärme
			Mauerwerk	Eisenteile	
Horizontal-Kleinkammerofen	0,95	12	50—110°	100—210°	12,4
Vertikalkammerofen	2,22	12	80—140°	125—250°	12,9
Horizontalkammer- und Koksofen	8,0	16	80—150°	125—250°	22,4
desgl.	8,85	19	40—75°	120—190°	10,3

In den a. a. O. gegebenen Kurvenbildern ist auch der Einfluß der Ofenbelastung auf den Strahlungsverlust sehr umfassend dargestellt. Vorstehende für Vollbelastung ermittelte Werte des Strahlungsverlustes steigen bei Unterbelastung des Ofens erheblich an. Vor allem bei nicht ausreichendem Wärmeschutz der schützbaren Flächen sind in solchen Fällen wesentlich höhere Strahlungszahlen möglich. Als Beispiel eines höheren Strahlungsverlustes ist die Untersuchung von Terres in Braunschweig²⁾ anzuführen, der am 3-t-Kammerofen 25—28% feststellte. Nach den in Zahlentafel 2 angegebenen Oberflächenverhältnissen muß hierzu angenommen werden, daß diese Unterschiede in zu geringem Isolierungseinbau begründet sind. — Aufschluß über die prozentuale Verteilung des Strahlungswärmeverlustes auf die Teile des Vertikalofenblocks gaben eingehende Untersuchungen an Vertikalöfen in Braunschweig²⁾, in Berlin-Mariendorf³⁾ und Duisburg⁴⁾, die trotz verschiedener Betriebsart der Anlagen eine ähnliche Größenordnung zeigen. Untersucht wurden in Mariendorf Vertikalöfen mit Einzelgeneratoren, Plattenrekuperation und Rauchgasabzweigung für Abhitzeverwertung, in Braunschweig Einzelgenerator-Kammeröfen, in Duisburg Kammeröfen mit Schwachgasbeheizung und Röhrenrekuperation

¹⁾ Eidgen. Mat.-Pr.-Anst. T. Hochsch. 1935, Mon.-Ber. 96.

²⁾ Brennst.-Chem. 13 (1932) S. 221.

³⁾ Körting A., Untersuchung üb. d. wirtsch. Streckung des Leuchtgases dch. Wassergas. Berlin Te II. Diss. 1930.

⁴⁾ Wehrmann F., Gas- und Wasserfach 75 (1932) S. 607.

mit niedriger Rauchgas-Abgangstemperatur. Der Anteil der festgestellten Strahlungsverluste betrug:

	in Mariendorf	Duisburg	Braunschweig
für den Oberflur	25,7 %	21,3 %	32,6 %
» die Kammerseite	21,1 »	25,7 »	26,0 »
» » Rekuperationsseite	20,0 »	17,8 »	21,6 »
» » unteren Verschlüsse	23,6 »	19,2 »	19,8 »
» 2 Seitenwände	9,6 »	16,0 »	—

Im Falle Duisburg¹⁾ wurde durch zusätzliche Sterchamolisolierung des Hauptteils der Kammerseite in 125 mm Stärke etwa $\frac{2}{3}$ des dort vorher gemessenen Strahlungsverlustes eingespart (wobei die Messungen mit dem Lamort-Wärmeflußmesser ausgeführt wurden, ebenso wie in Braunschweig), und errechnet, daß der Aufwand für diese Isolierung durch weniger erforderliche Wärmezufuhr in etwa 5 Monaten getilgt wurde.

Die Sorgfalt, die in neuerer Zeit bei allen Ofenbauten auf die Durchbildung oder Verbesserung des Strahlungsschutzes verwandt wird, findet in diesen Zahlen ihre volle Berechtigung. Die erwähnte zusätzliche, nicht in der Ofenhülse mit eingebaute, sondern nachträglich aufgebracht

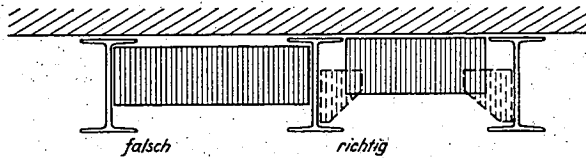


Abb. 38. Zusatzisolierung.

Sterchamolisolierung ist leicht zwischen der äußeren Ofenverankerung anzubringen. Es muß aber dabei vermieden werden, die Anker selbst mit in die Isolierung einzubauen, weil dann der innere Flansch des Trägers unverhältnismäßig stärker erwärmt wird als der äußere und der Träger sich dadurch vom Ofen abbiegen muß. Die Isolierung muß möglichst am Ofenmauerwerk anliegen und zur Festlegung genügen alle 5 bis 10 Lagen eingebaute Stützsteine. Die Abb. 38 zeigt den falschen und richtigen Einbau einer Zusatzisolierung.

Der Wärme flu ß im Vertikalofen. Wärmebilanzen von Vertikalöfen sind wiederholt aufgestellt worden, sind aber untereinander schwer oder nicht ohne weiteres zu vergleichen, da sie meist von verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgestellt sind, wie aus folgenden 3 Beispielen von Wärmestrombildern zu ersehen ist:

- a) Abb. 39, Terres²⁾. Rekuperativer Einzelgenerator-Vertikalkammerofen mit 2-t-Kammern;

¹⁾ Gas- und Wasserfach 75 (1932) S. 607.

²⁾ Brennst.-Chsm. 13 (1932) S. 221.

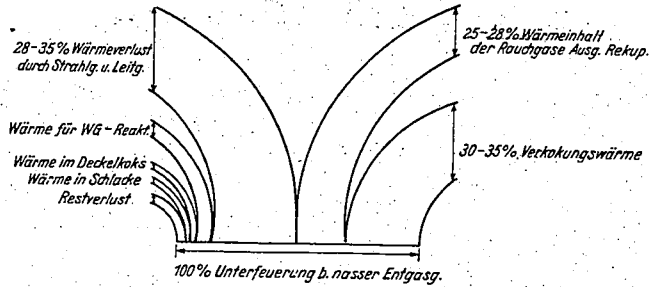


Abb. 39. Wärmestrombild (Terres).

b) Abb. 40, ^oSchlöpfer¹⁾. Ebensolcher Ofen mit 2,2-t-Kammern;

c) Abb. 41, Schlöpfer, weiterer Versuch, wie zu b).

Als Ausgangspunkt wird entweder der Wärmeinhalt des Unterfeuerungskokes (a) oder die gesamte, der Anlage zugeführte Wärme einschließlich Dampf (b, c) genommen.

Diese zugeführte Wärme wird mehr oder weniger weit unterteilt zergliedert. Je weitgehender diese Aufteilung durchgeführt ist, desto

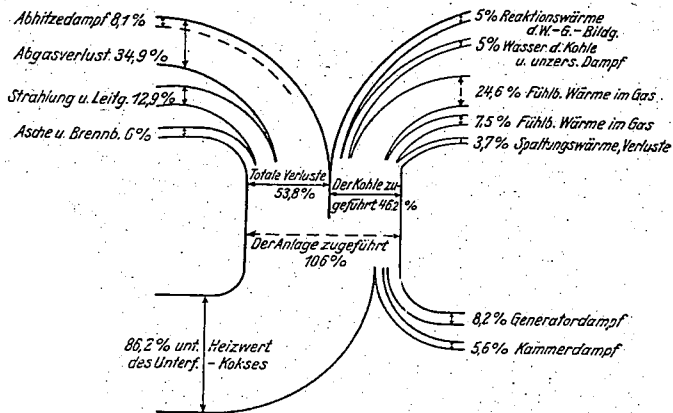


Abb. 40. Wärmestrombild (Schlöpfer).

umfangreicher sind die dafür notwendigen Voraussetzungen in der Versuchsanordnung und in vielen Fällen erlauben die Betriebsverhältnisse gar nicht die erforderliche Genauigkeit der Feststellungen. Einheitlich erfaßt sind im allgemeinen die Rauchgasverluste nebst etwaigem Ab-

¹⁾ Eidg. Mat.-Pr.-Anst. T. Hochsch. Zürich 1935, Mon.-Ber. 96.

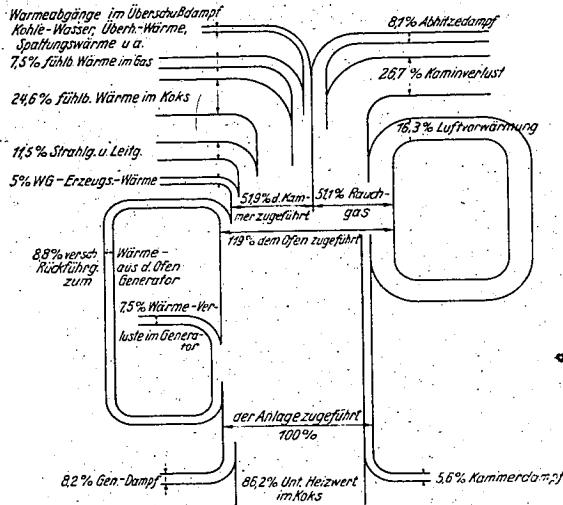


Abb. 41. Wärmestrombild (Schläpfer).

hitze-Dampfgewinn, die Wärme in der Schlacke usw., der Wärmeverbrauch der Wassergaserzeugung in der Kammer und der Verlust durch Strahlung und Leitung. Letzterer Betrag beruht entweder auf Messung (a) oder ist als Restverlust erfaßt.

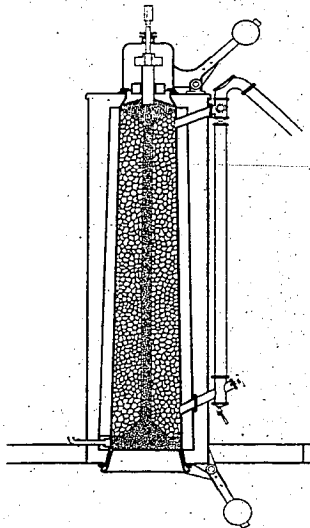


Abb. 42. Schematische Darstellung des elektrischen VerkokungsOfens System BBC.

Während Terres die von der Kohle angenommene Wärme als Verkokungswärme zusammenfaßt, unterteilt Schläpfer diese als Wärme im Koks, im Gas und als Spaltungswärme.

Die Darstellungen b) und c) unterscheiden sich ferner dadurch, daß b) nur die Verteilung der Wärmemengen angibt, c) aber auch die Wärmerückföhrungen innerhalb des Ofens erfaßt.

Der elektrisch beheizte Vertikalofen. Eine Ausführungsform, die zwar für Deutschland kaum in Frage kommen wird, aber für Länder mit Überschuß an billigem Strom Bedeutung haben kann, ist die elektrisch beheizte Vertikalkammer.

Eine von Brown-Böveri & Cie. ausgebildete Bauart wird von Schläpfer beschrieben

ben¹⁾ (Abb. 42). Mangels Verwendungsmöglichkeit ist dieser Ofen nicht mehr weiter ausgebildet worden. Das Grundsätzliche dieser Arbeitsweise ist, daß der Strom von einer in Kammermitte senkrecht durchführenden, den Strom leitenden Perlikoksfüllung die Wärme radial nach außen treibt. Da der gebildete Koks den Strom gut weiterleitet, kann mit zunehmender Stärke dieser leitenden Koksäule und gleichzeitig an an Oberfläche zunehmender, nach außen wandernder Reaktionsfläche (Teernaht) die Stromstärke und damit wieder die Entgasungsgeschwindigkeit zusätzlich verstärkt werden. Die Entgasungsprodukte entweichen zum großen Teil durch die weniger heiße Außenschicht, nur bei sehr beschleunigter Entgasung tritt Wärmespaltung in größerem Umfange ein. Die anfallenden Stoffe nehmen daher eine Mittelstellung zwischen solchen aus der Hoch- und Tieftemperaturverkokung ein.

Über Betriebsergebnisse mit elektrischer Verkokung in einem von der Edison-Comp. in Detroit USA. erstellten Ofen berichtet Walker²⁾. Die unterbrochen betriebene senkrechte Kammer von 12 m Höhe und 1,80 m innerem Durchmesser hatte 30 t Ladung, als »Zünder« eine Koksgrussäule in der Mitte. Der zugeführte Strom wurde durch Transformator auf 600 V umgeformt. Die Verkokungsgeschwindigkeit betrug 4 Zoll/h (= etwa 10 cm/h). Eine Kohle mit 36% flüchtigen Bestandteilen ergab aus 1 t Rohkohle 309 m³ Gas von 4717 WE, 112 kg Teer, der Stromverbrauch betrug 392 kWh/t Kohle oder 1,27 kWh/m³ Gas. Die Wirtschaftlichkeit ist ausgesprochen örtlich zu beurteilen (Strompreis, Absatzmöglichkeit für den Teer u. a.).

γ) Ofenzubehör.

Die Kammerverschlüsse, Gasabgänge und Teervorlagen. Bei kleineren und mittleren Einheiten der Vertikalöfen sind die von den Horizontalretortenöfen bekannten Verschlußdeckel mit Exzenterhebel (Morton-Verschluß) noch allgemein üblich und auch bei großen Kammern noch viel gebraucht. Daneben führt sich für große Kammern in neuerer Zeit der bei den Kokereien gebrauchte Füllochrahmen mit eingelegetem Runddeckel sehr ein, der sich dadurch auszeichnet, daß er keinerlei bewegliche, dem Verschleiß ausgesetzte Teile hat (Abb. 43). Der Deckel ist in dem Rahmen mit kalottenförmig oder auch ballig gedrehten Dichtflächen eingepaßt, so daß er, zumal durch sein schweres Gewicht, zuverlässig abdichtet, allerdings nur bei guter Pflege und Reinhaltung der Dichtflächen. Die Deckel werden auch mit Isolierstofffüllung (Dr. Otto) oder Luftzwischenraum (Didier) ausgeführt,

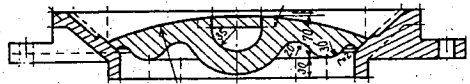


Abb. 43. Runddeckel.

¹⁾ Eidg. Mat.-Pr.-Anst. T. Hochsch. Zürich 1935, Mon.-Ber. 96.

²⁾ Brennst.-Chem. 14 (1933) S. 13 Ref.

mit kugelförmiger oder ebener Oberfläche. Klönne ordnet die Deckel versenkt an und überdeckt sie mit einer den Ofenflur ausgleichenden ebenen Platte. Das Öffnen und Schließen des Runddeckels erfolgt zweckmäßig mit einem kleinen Hebelarmwagen.

Das Gasabgangsrohr wird an der Vertikalkammer seitwärts schräg ab oder schrägaufwärts durch die Ofendecke geführt. Das schrägaufführende Rohr wird auch ausgemauert (Dr. Otto) zum Schutz vor der Ausstrahlung aus der Kammer. Ein nicht zu kurzes, schrägabführendes Abgangsrohr gestattet eine starke, gegen den Gasstrom gerichtete und dadurch sehr wirksame Streudüsenberieselung, während diese in kurzem Knierohr nur kurz mit dem Gasstrom gehen kann.

Als Teervorlage ist im Gaswerksbetrieb zumeist die nasse Vorlage in Gebrauch, und zwar grundsätzlich in 2 Formen. a) Die wassergefüllte Vorlage mit feststehenden Tauchwänden und Vorrichtung zum Auffüllen und wieder Halbentleeren versehen, ist leicht zugänglich und leicht zu reinigen, außerdem gut zu überwachen. b) Die Vorlage mit beweglicher, tassenförmig ausgebildeter Tauchklappe (Abb. 44), deren Tasse sich über den von oben in die Vorlage eintretenden Gas-

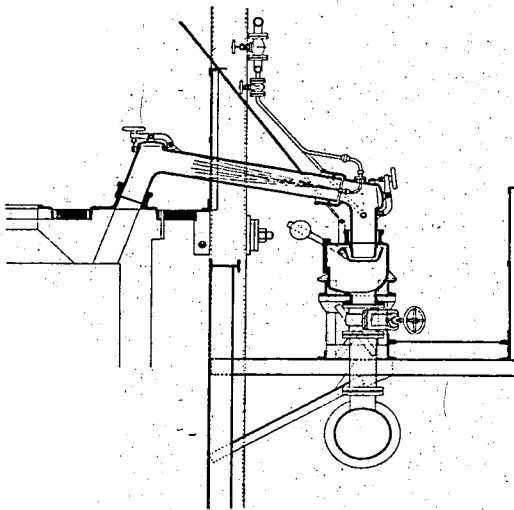


Abb. 44. Teervorlage mit Tauchklappe.

abgangsstützen stülpt und durch das Berieselungswasser sofort aufgefüllt und gasgedichtet ist, läßt sich sehr schnell ein- und ausschalten und ist in geschlossener Stellung immer bewässert. Sie ist allerdings der Verschmutzung durch Teer und mitgerissenen Kohlenstaub stärker ausgesetzt und erfordert gute Überwachung.

Die Sammelvorlage je Ofen, die zunächst allgemein üblich war, war zugunsten der Einzelvorlage je Kammer verlassen worden, weil bei Auffüllen der Sammelvorlage auch die nicht zu entleeren den Kammern des Ofens unter Druck kamen. Bei Verwen-

dung des Tauchklappenabschlusses kommt dies nicht in Frage und hierfür hat infolgedessen auch die baulich einfachere Sammelvorlage noch ihre Berechtigung und wird neuerdings wieder angewandt. Es ist bei diesem Abschluß auch möglich, die Vorlage nur als kleinen Kasten mit Putzdeckel und unterem Abfluß auszubilden und die

darunter angeordnete Rohgasleitung zugleich als Teerleitung zu verwenden (Abb. 44).

Als unterer Kammerdeckel sind nasse und trockene Verschlüsse im Gebrauch. Der nasse Verschuß hat, obwohl er betriebsmäßig einige Überwachung und Pflege erfordert, wohl deshalb schon bei den ältesten Vertikalkammern Interesse gefunden, z. B. bei Bolz¹⁾, Collin u. a., weil die Herstellung der immer größer werdenden Grundrahmen und Deckel mit gasdichter Dichtfläche technisch schwierig war. Aus diesem Grunde wird der nasse untere Verschuß auch jetzt noch empfohlen (Klönne, DOG, Dr. Otto), doch ist der mit Exzenterbügeln angepreßte trockene Deckel überwiegend in Gebrauch. Um ihn leichter und anpassungsfähiger zu gestalten, wird er auch in Schmiedeeisen ausgeführt und nur mit gußeiserner Schutzhaube versehen. Für die schweren unteren Deckel sind mechanische Bewegungseinrichtungen notwendig; das Öffnen und Schließen erfolgt entweder hydraulisch (Plunger, Treibstock, Zahnrad auf Welle), wobei das Öffnen ebenso langsam wie das Schließen erfolgt, oder mit Elektromotor mit Kettenübertragung, wobei das Gewicht des Deckels durch ein Gegengewicht ausgeglichen werden muß, um ein zu schroffes Auffallen zu verhüten. Für kleinere Anlagen, sowie auch als Reserve für maschinellen Antrieb, wird der Handantrieb mit Kurbel verwandt, der mit Zahnradübersetzung auf einen Treibstock oder einen Kettentrieb arbeitet. Der Antrieb ist je Ofen oder auch Ofengruppe zusammengefaßt und es wird jeweils die zu bedienende Welle eingeklinkt.

Der untere Gasabgang. Bei der früher üblichen Entgasung von Förder- oder Gasstückkohle fand das entweichende Gas in der Kammer genug Durchgang nach oben. Seit aber die Verwendung von gemahlener und Feinkohle in Gebrauch kam, und zudem die Kammerhöhe zunahm, stellte sich unmittelbar nach dem Laden bis zum Beginn des ersten Schwindens — je nach Kammergröße, Kohlesorte und Temperaturen verschieden, für die Dauer von 1 bis 5 h, — ein zunächst bis über 100—150 mm WS betragender, allmählich absinkender Druck im Kammerunterteil ein, der bei Vorhandensein irgendwelcher Undichtigkeiten am unteren Deckel nach außen oder durch Kammerfugen nach den Heizkanälen abflies. Deshalb sind (etwa seit 1925) erfolgreiche Versuche mit einem zusätzlichen unteren Gasabgang gemacht worden²⁾ und dieser wird heute, wenigstens bei Kammern von über 5 m Höhe, und besonders bei Verwendung feingemahlener oder sehr nasser Kohle von den meisten Ofenbaufirmen empfohlen. Die untere Absaugung läßt sich zwar auch in vorhandene Kammern behelfsmäßig einbauen, vorteilhafter sind aber die Sonderanordnungen, die z. B. die Absaugung

¹⁾ Gas- und Wasserfach 53 (1910) S. 837.

²⁾ Beuthner K., Gas- und Wasserfach 70 (1927) S. 1238.

in den Grundrahmen beiderseits längs der Kammer verlegen; auch Ausführung mit in die Deckelhaube verlegtem Sammelkanal wird angeboten¹⁾. Der untere Gasabgang führt entweder durch eine besondere Teervorlage in ein zum oberen Gasabgang leitendes Rohr (Abb. 45) oder in eine besondere Gassammelleitung. Die Vereinigung beider Gasabgänge am oberen Gasabgang ist die richtigere Form, weil nur so der angestrebte Druckausgleich in der Kammer ganz erreicht wird und das Gas überall den Weg des geringsten Widerstandes nehmen kann. An Stelle einer unteren Teervorlage genügt auch ein einfacher Anschluß an eine untere Teersammelleitung. Der untere Gasabgang wird dicht am Ofen mit einem durch Handhebel zu bedienenden Schnellschlußschieber versehen, um ihn nach einer erfahrungsmäßig für den betr. Betrieb ermittelten Zeit abzusperrn. Die gesonderte untere Absaugung hat nicht nur dadurch Wert, daß sie sonst verlorengelanges Gas gewinnt, sondern auch dadurch, daß sie dieses, an sich sehr hochwertige Anfangsgas abfängt, ohne daß es auf dem langen Weg an der heißen Kammerwand zersetzt wird. Das so abgezweigte hochwertige Gas erlaubt einen relativ höheren Wassergaszusatz und führt daher zu höherer Mischgasausbeute, als wenn sein Heizwert auf dem Wege durch die Kammer verarmt wäre. Dies ist von merklichem Einfluß, da unter Umständen in den ersten 1—2 h etwa die Hälfte des erzeugten Gases durch den unteren Abgang entweicht. Es kann darauf hingewiesen werden, daß dieses Gas je nach der Kohlenbeschaffenheit bis zu 6—7000 kcal hat und bei geeignetem Absatz nach besonderer Reinigung (z. B. elektrisch) sich als Flaschengas vornehmlich eignen kann. Die vom unteren Abgang aufsteigende Gasleitung kann berieselt werden²⁾, doch hat sich praktisch erwiesen, daß auch ohne Berieselung eine Versetzung dieser Leitung nicht eintritt, da bei den in Frage kommenden Temperaturen kein Dickteer gebildet wird.

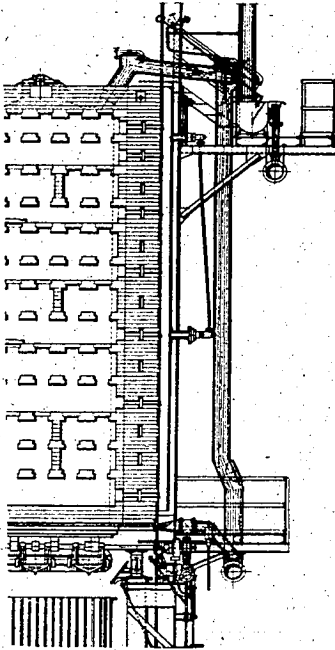


Abb. 45: Vereinigter unterer und oberer Gasabgang.

Eine weniger glückliche Lösung für die untere Absaugung war die vordem mehrfach in verschiedener Weise ausgeführte Einordnung eines aus Röhrensteinen in der vorderen Kammerschmalseite gebildeten Ab-

¹⁾ Klönne, DRP 511316.

²⁾ Bruthner K., Gas- und Wasserfach 70 (1927) S. 1238.

gangskanals von unten zum oberen Gasabgang, der durch einen Steinschieber abgeschlossen werden konnte. Dieser Abgang führte zwar einen Drucküberschuß aus dem Kammerfuß ab, verhinderte aber nicht die thermische Zersetzung dieses Gases, da der Rohrkanal etwa auf Kammer-temperatur hochgeheizt war. Diese Ausführung ist daher neben der Hochführung außerhalb des Ofens zurückgetreten.

Die Dampfführung. Zur Kammerausrüstung gehört ferner die Dampfführung. Auf den Wert und die Art der Dampfumsetzung wird nachfolgend noch zurückgekommen. Für den Wirkungsgrad der Dampfumsetzung ist aber die Art der Dampfeinführung in die Kammer und die Dampfverteilung auf den Koks-kuchen von großer Wichtigkeit. Bei den Vertikalretorten genügte es, daß je Retorte von vorn ein Dampfführungsrohr durch den Grundrahmen eingeführt wurde. Bei Kammern von 2 m Tiefe wurden dann 2, bei tieferen Kammern 3, auf die Seiten und die Länge des Grundrahmens verteilt, eingebaut, die sich leicht von außen durchstoßen und mit nachprüf-baren Blenden regeln lassen. Eine noch günstigere Dampfverteilung hat sich im Zusammenhang mit dem Einbau des unteren Gasabganges ausgebildet, zwei beider-seits in den Grundrahmen eingegossene Dampfkanäle mit mehreren Öffnungen an der Kammerlängswand. Die Verteilung ist dadurch besser, allerdings sind diese mit kalibrierten Düsen zu versehenen Öffnungen nicht so leicht freizuhalten und im Betrieb nicht prüfbar. Es wird empfohlen¹⁾, zu ihrer Reinhaltung vom Beginn der Entgasung eine geringe Menge Spüldampf durchzuschicken; es scheint jedoch täglich, ob der bei einer wirklich geringen Spüldampfmenge sich ergebende schwache Druck eine beginnende Versetzung verhüten kann, und eine größere Menge Spüldampf ist zu Beginn nicht ratsam (vgl. später). Immerhin dürfte auch bei Versagen einzelner Öffnungen eine weitgehende Dampfverteilung erreicht werden.

Auch eine Dampfführung von oben her ist im Zusammenhang mit dem unteren Gasabgang ausgeführt worden (Klönne u. a.), um zur besseren Wärmeausnützung (vgl. später) wechselnd auch abwärts zu dampfen; ferner wird neuerdings für hohe Kammern eine Dampfführung in halber Höhe oder in verschiedenen Höhen vorgeschlagen (Dr. Otto), um eine stärkere örtliche Abkühlung des Kammerfußes bei reichlichem Dampfzusatz zu verhüten.

Die Dampfüberhitzung. Da die Dampfumsetzung in der Kammer um so besser ist, je heißer der Dampf zum Koks-kuchen tritt, ist eine Dampfüberhitzung möglichst dicht am Ofen erwünscht (vgl. später unter »Naßbetrieb«). Durch die neuen hochtemperaturbeständigen Sonderstähle Sichromal und Nichrotherm, die in bis 1200° beständigen Legierungen geliefert werden, ist dies technisch erleichtert. Der Einbau

¹⁾ Baum K., Gas- und Wasserfach 76 (1933) S. 397.

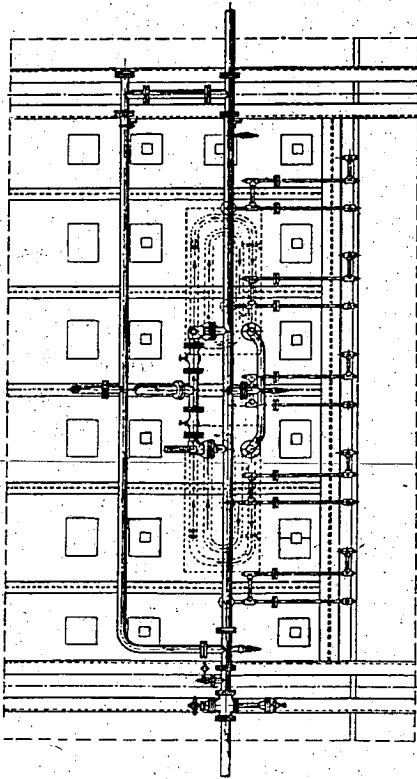
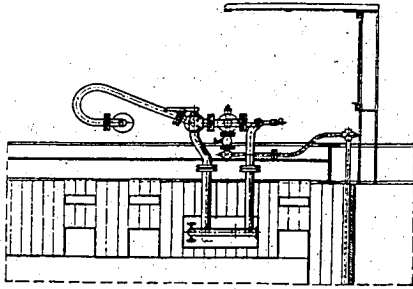


Abb. 46. Dampfüberhitzung für den Naßbetrieb (Didier).

der Überhitzerschlangen im Fuchel oder in der Rekuperation bedingt unerwünscht langen Leitungsweg für den überhitzten Dampf und damit verhältnismäßig hohen Isolierungsaufwand, wenn der Erfolg der Überhitzung nicht wieder verlorengehen soll. — Eine räumlich sehr günstige Anordnung ist der Einbau in der Ofenvorderwand (Didier)¹⁾ (Abb. 46), weil der überhitzte Dampf so den kürzesten Weg zur Verbrauchsstelle und damit geringste Wiederabkühlung hat. Ebenfalls günstig liegt die Anordnung der Überhitzerleitungen im unbeheizten Teil zwischen den Kammerköpfen (Dr. Otto). Der Einbau in Heizkanälen ermöglicht wohl eine höhere Überhitzung, doch entstehen dann praktische Schwierigkeiten, weil die Sonderstähle zwar zunderfrei bleiben, aber bereits unter ihrer Grenztemperatur nicht mehr genügend standfest bleiben und zudem bei hoher Überhitzung auch die Ableitung für den überhitzten Dampf in teurem Sonderstahl verlegt sein muß. Die obenerwähnte Dampfeinführung in halber Höhe der Kammer wird verbunden mit einer Hochüberhitzung durch in die Rekuperation mit eingebauten, in der Kammerwand endende, gemauerte Dampfkanäle, denen der Dampf vorerhitzt zugeführt wird (Dr. Otto). Im übrigen ist die Höhe der Überhitzung weitgehend abhängig von der Größe

der unterzubringenden Heizfläche. Die Deckelhaube des unteren Deckels ist auch als Überhitzer vorgeschlagen worden, kommt jedoch wegen

¹⁾ Deliwa-Ztg. 29 (1935) S. 23.

ihrer bei ordnungsgemäßem Betrieb zu niedrigen Temperaturlage dafür nicht in Frage. Wichtig ist ferner, daß der Dampf vorerhitzt oder mindestens gut entwässert zu den Überhitzerschlangen gelangt, damit nicht die relativ hohe, für Wiederverdampfung nötige Wärme für die Überhitzung verlorengeht.

Kohle- und Kokstransporteinrichtungen. Wenn auch an die Kohlenförderung für den Vertikalofen bei seiner Bauhöhe besondere Anforderungen gestellt wurden, so soll doch diese rein fördertechnische Frage hier nur kurz berührt werden. Die Förderung erfolgt im allgemeinen durch Becherwerke, senkrechte oder schräge Kübelaufzüge oder dgl. möglichst unmittelbar in die über den Kammern verteilten Bunker oder einen Sammelbunker an möglichst zentraler Stelle. Die Ladung der Kammern geschieht durch einen Kohlenfüllwagen, der bei kleineren Leistungen als Hängebahnwagen, bei größeren Kammern (von etwa 2—2,5 t an) auf Schienen auf dem Ofenflur mit Handkurbel oder mit elektrischem Antrieb verfahrbar ist. Wiegeeinrichtung im Wagen oder in der Fahrbahn ist unbedingt zu fordern, um Leistung und Ausbeuten zuverlässig überwachen zu können.

Ausreichende Kammerfüllung ist gerade beim Vertikalofen und vor allem bei Verwendung gemahlener, daher lose liegender und stark schwindender Kohle von besonderer Wichtigkeit. Bei Kammern bis zu mittlerer Größe mit nur einem Gasabgang pflegt der Kammerhals in der Form des Kohleschüttwinkels gemauert zu sein, so daß die Kammer bei Füllung bis zum Füllhals zwangsläufig vollgefüllt ist. Bei Kammern mit mehreren Füllöffnungen (2 bis 3) und zugehörigem Füllwagen mit mehreren Ausläufen besteht die Gefahr einer ungleichen und deshalb unzureichenden Füllung. Auch bei geteiltem Bunker des Füllwagens ist es möglich, daß die Kohle sich in einem Auslauf versetzt, daher der andere Auslauf sich zu schnell ganz entleert und zum Schluß keine Auffüllkohle mehr enthält. Deshalb sind bei im Bunker mauernder Kohle Röhreinrichtungen zu empfehlen, die mit dem Auslaufschieber betätigt werden (Didier). Eine günstige Lösung bringt auch Klönne mit einem Füllwagen für 3 Ausläufe (Abb. 47), bei dem zunächst durch

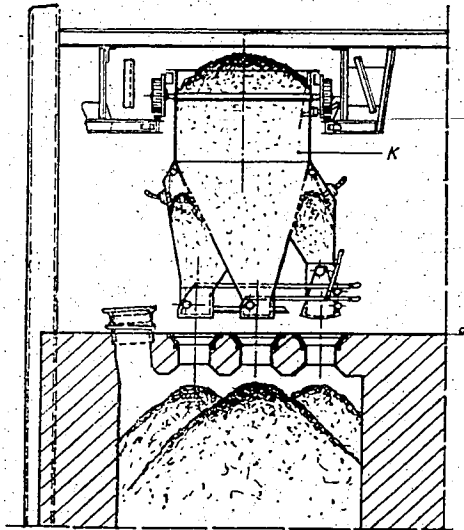


Abb. 47. Füllwagen (Klönne).

den mittleren Auslauf aus dem Hauptbunker des Wagens die ganze Kammer gefüllt und dann nur noch die beiden äußeren Mundstücke aus 2 Seitentaschen des Füllwagens aufgefüllt werden:

Auf jeden Fall müssen alle Mundstücke bis dicht an den Füllhals gefüllt werden, so daß eben noch ein Gasdurchgang unter den zwischenliegenden Brücken möglich ist. Dadurch bleibt nach dem Schwenden der Kohle der für Gaszersetzung gefährliche Raum möglichst klein. — Bei 3 Kammerfüllöffnungen kann auch der Füllwagen so eingerichtet werden, daß nur durch die beiden äußeren gefüllt wird, während durch die mittlere mittels eines im Füllwagen eingebauten Blechkamins die Füllgase über Kopf des Stochers abgeführt werden.

Die in Kokereien häufiger anzutreffende Füllgasableitung zum Kamin hat sich in Gaswerken nur vereinzelt eingeführt.

Auf die Gleichmäßigkeit der vor dem Kohlefüllen aufzugebenden Deckelladung aus Grus bzw. Perlkoks ist besonderer Wert zu legen. Bei langen Kammern sind hierzu unter Umständen besondere Verteilungseinrichtungen am Füllwagen oder im Kammerkopf vorgesehen.

Für den Koksabtransport war bei den Vertikalöfen die sog. Brouwer-Rinne sehr verbreitet und als einfaches, zuverlässiges Fördermittel beliebt. Sie bestand aus einer unter Kammermitte entlang führenden, mit Mitnehmerkratzern versehenen endlosen Kette, die in einem mit gußeisernen Platten ausgekleideten und mit gußeisernen Führungsschienen versehenen Rinnentrog zu einem Endbunker lief und mittels Kettenradumlenkung unter dem Rinnentrog entlang zurückgeführt wurde. Beim Pintsch-Bolz-Ofen lief die Brouwer-Rinne auf Blockmitte oder seitlich längs des Blocks in Höhe Generatorflur. — Während der Fortführung in der Rinne wurde der Koks durch Brausen gelöscht und aus dem Endbunker der gelöschte Koks je nach örtlicher Lage mit Kübelschrägaufzug oder dgl. weitergefördert. — Diese für Vertikalretorten ideale Lösung verlor ihre Bedeutung einerseits durch die höheren Anforderungen an die Koksqualität, für die diese nicht nur fördernde, sondern zugleich mahlende Einrichtung unvorteilhaft war, anderseits durch das Zunehmen der Kammerladungen, für deren Bewegung Rinne und Kette unverhältnismäßig schwer hätten ausgeführt werden müssen.

Für Vertikalkammern ist deshalb jetzt allgemein der Kokskübelwagen üblich; er arbeitet entweder als Seitenentleerungswagen, der von einer Rampe außerhalb des Ofenhauses entleert werden kann. Häufiger noch wird ein auf Untergestell stehender Klappkübel benützt, der nach Ablösen vom Kran oder dgl. mittels Traverse aufgenommen und in den Bunker der Koksauflbereitung entleert wird. Wichtig ist, den Entleerungswagen so groß anzuordnen, als es die Raumverhältnisse eben gestatten. Denn je niedriger die in den Wagen entleerte Koks menge geschichtet liegt (möglichst nicht über $\frac{1}{2}$ m hoch), desto schneller

und günstiger vollzieht sich die Löschung im Kokslöschurm und ergibt einen möglichst wasserarmen Koks.

Eine Sonderart des flachen Koksentleerungswagens ist der Tremus-Löschwagen (Klönne)¹⁾ (Abb. 48), ein einseitig schrägliegender Muldenwagen, der durch die parabolische Form der Löschmulde die lebendige Kraft des fallenden Kokskuchens abfangen und dadurch übermäßiges Zerschlagen des Kokses verhüten soll.

Einen ähnlichen Gedanken der schonenden Koksentleerung verfolgt die im Städt. Gaswerk Stettin ausgeführte (Didier), von den Kokereiofen übernommene Schrägrampe, die diesem ganzen Ofenblock ein besonderes Gepräge gibt. Der Koks wird durch eine unter die Kammer

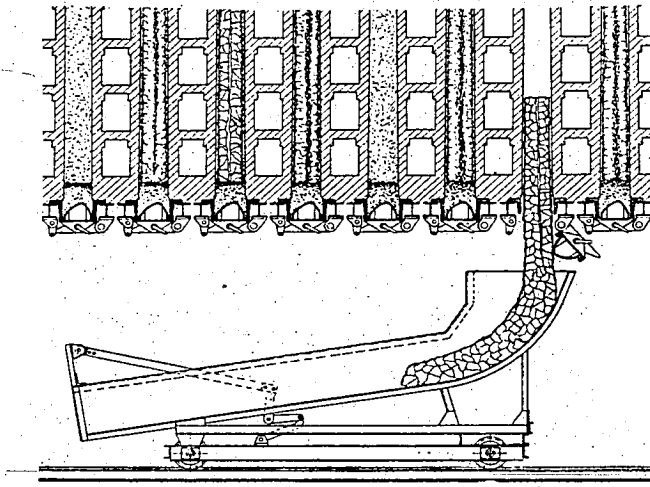


Abb. 48. Tremus-Muldenlöschwagen.

geführte Schrägrutsche nach der Rampe zu abgelenkt. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß das Entleeren mehrerer Kammern sich ohne den Zeitverlust für Löschen und Abtransport des einzelnen Kokskübels abspielen kann, erfordert aber einen gewissen baulichen Mehraufwand.

Zur Bewegung des Kokslöschwagens aus dem Ofenblock und Löschurm heraus dienen, je nach den Betriebsverhältnissen, verschiedene Einrichtungen. Besonders gebräuchlich ist ein unter Flur in einem Kanal verlegter, elektrisch angetriebener Seilspinn, der den Unterwagen des Kokskübels oder einen Stoßwagen führt. Die Schaltung des Spills wird zweckmäßig so eingerichtet, daß der Entleerungswagen mittels Druckknopfsteuerung von jedem Ofen aus angetrieben oder stillgesetzt

¹⁾ Klönne, DRP 491063.

werden kann. Ferner werden bei größeren Anlagen mit Benzol oder Druckluft betriebene Zugwagen gebraucht, sowie auch elektrische Lokomotiven. Die stromzuführenden Schleifleitungen sind allerdings in dem starken Wärmestrahlung ausgesetzten Raum unter den Kammern und aus Rücksicht auf den für Öffnen der unteren Deckel und die allgemeinen Bedienungsarbeiten benötigten Platz schwer unterzubringen, bzw. zu schützen, doch sind auch hierfür brauchbare Ausführungen ausgebildet worden, z. B. Anordnung der Stromschienen dicht über

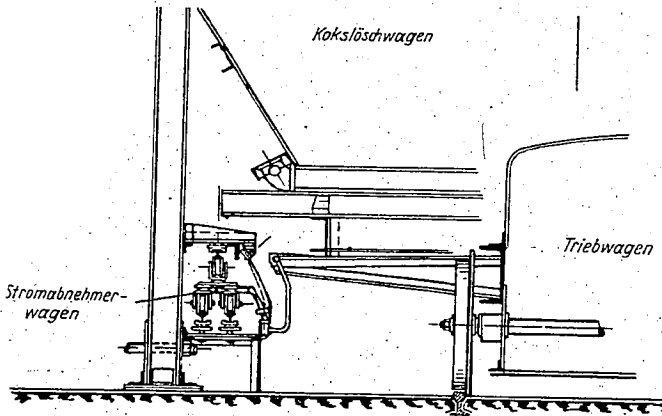


Abb. 49. Stromabnehmerwagen.

Flur in Dreieckanordnung (Abb. 49) mit dazwischen rollendem Stromabnehmerwagen (Klönne), wobei der Schutzkasten nur an der Abnehmerseite durch bewegliche Klappen zugänglich ist.

δ) Der Naßbetrieb.

Grundsätzliche Beurteilung und Wirtschaftlichkeit des Naßbetriebes. Vereinzelt findet man in der Fachliteratur die Angabe, daß der Naßbetrieb nur ein notwendiges Übel sei und sich nur eingeführt habe, weil es heiztechnisch nicht möglich sei oder gewesen sei, die Überhitzung des Kammerunterteils auf andere Weise in Grenzen zu halten, die eine Schädigung des feuerfesten Materials ausschalten. Diese Ansicht muß als abwegig und unzutreffend abgelehnt werden. Bei den, wie erwähnt, verhältnismäßig stark konischen Retorten war das Verhältnis der Kohlefüllung Unter- zu Oberteil so, daß die zugeführte Wärme unten gebraucht wurde, eher könnte man annehmen, daß die Dampfspülung des größeren Ladungsunterteils dessen Ausgarung vollenden half. Vor allem aber ist darauf hinzuweisen, daß die Tatsache der Mehrausbeute bei Dampfzusatz zu ausgaster Kohle in senkrechten

Räumen von mehreren Vorläufern der technischen Gaserzeugung her bekannt war und daher die Anwendung dieses Verfahrens aus diesem Grunde verlockend sein mußte.

Da aber das Verfahren dem bisherigen Gebrauch widersprach und mit dem zur Zeit der Entwicklung des Vertikalofens noch geübten Bestreben, ein möglichst leuchtstarkes, heizwertreiches Gas zu erzeugen, nicht übereinstimmte, wurde der Naßbetrieb gleichsam im Sinne einer Wasserpantscherei von vielen Fachleuten entrüstet abgelehnt. Das war auch insofern begründet, als die durch die Einführung des Auerschen Gasglühlichts bedingte Umwertung der Begriffe, der Übergang vom leuchtstarken Gas auf das Gas mit hoher Flammentemperatur noch nicht Allgemeingut des Fachs geworden war. Außer diesen Gründen waren es aber noch andere wirtschaftlicher Art, die auch von fortgeschrittensten Fachleuten hartnäckig vertreten wurden. Vor allem wurde immer wieder betont, das Dampfen in der Kammer sei unrationell gegenüber der Wassergaserzeugung in einer Wassergasgenerator-Anlage¹⁾. Seither hat sich aber trotz stellenweiser Aufrechterhaltung der früher gebrachten Beweisgründe doch immer allgemeiner die Anerkennung der Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit des Naßbetriebes durchgesetzt, was sich auch darin ausdrückt, daß man neuerdings selbst die Kammerbauarten, die man früher als für den Naßbetrieb völlig unbrauchbar ansah, die Horizontalkoksöfen, mit den verschiedensten Hilfsmitteln für die Wassergaserzeugung einzurichten bestrebt ist. Es kann deshalb auf eingehende Ausführung der damaligen Gegengründe verzichtet werden, zumal die von beiden Seiten sehr ausführlich gebrachten Nachrechnungen und theoretischen Betrachtungen naturgemäß im Hinblick auf das jeweils zu beweisende Ergebnis mehr oder weniger einseitig gesehen waren.

Ein Beispiel des Überganges zu der jetzt überwiegenden, betriebs-technisch und allgemein wirtschaftlich begründeten Auffassung ist die Erklärung von Debruck 1910²⁾, daß das Kammerdampfen rationeller sei als das Arbeiten mit einer unvollständig ausgenützten Wassergasgenerator-Anlage. Die schon damals richtig erkannten Vorteile des Dampfens waren: Dickteerverhütung, begründet in der Steigerung der zu Ende der Gaserzeugung sonst zurückgehenden Gasgeschwindigkeit in dem zu dieser Zeit besonders freien und heißen Kammerkopf, und die wenigstens teilweise Aufzehrung überflüssigen Graphits. Die Frage der größeren Wirtschaftlichkeit der Wassergaserzeugung in Kammer oder Generator wird sich nie eindeutig beantworten lassen, da die Antwort je nach den örtlichen Verhältnissen sehr verschieden lauten kann.

¹⁾ Gas- und Wasserfach 51 (1908) S. 725, 813.

52 (1909) S. 164, 205, 493, 621.

²⁾ Gas- und Wasserfach 53 (1910) S. 409.

Es darf aber auf die Ausführungen Geiperts hingewiesen werden¹⁾, daß der für reinen Naßbetrieb zu rechnende Mehrbedarf an Öfen wesentlich geringere Anlagekosten und auch Unterhaltung erfordert als eine andernfalls nötige Wassergasanlage.

Zwei auch in neuerer Zeit wiederkehrende Gegenründe sind die angeblich schlechte Dampfzeretzung in der Kammer und die Koksverschlechterung durch das Dampfen. Der Einwurf der schlechten Dampfzeretzung kann heute nicht mehr anerkannt werden, da wir, wie nachfolgend noch eingehender ausgeführt wird, über die verschiedensten Möglichkeiten verfügen, eine gute Dampfzeretzung zu erreichen. Wird sie nicht erreicht, so muß das als ein Mangel der Betriebseinrichtung bezeichnet werden. — Hinsichtlich der Koksverschlechterung wird behauptet, daß der Koks »ausgelaugt« und aschereicher gemacht, außerdem zermürbt werde. Diese Ansicht muß schon abgelehnt werden, wenn man sich den Vorgang der Wassergasbildung in der Kammer vorstellt. Der Dampf tritt in die Kammer ein und reagiert sofort in erster Linie mit den zunächst berührten glühenden Koksteilen, setzt sich teilweise um und wandert, vom nachkommenden Dampf verdrängt, als Wassergas-Restdampfgemisch weiter auf dem ihm den geringsten Widerstand bietenden Wege, also zwischen Kammerwand und Koks-kuchen, allenfalls noch durch die vorhandenen größeren Klüftungen, wobei der Restdampfgehalt noch mehr oder weniger umgesetzt wird. Die Hauptumsetzung findet aber bei den Eintrittsstellen statt und dort wird der Koks regelrecht abgezehrt und ist, wie im Betrieb praktisch erwiesen, mit dem zurückbleibenden Ascheskelett bedeckt, das dann beim Ablöschen hinweggespült wird.

Daß der Koks beim Dampfen nicht aschereicher wird, konnte durch tagelanges Dampfen einer mit Perlkoks gefüllten, täglich nachgefüllten Vertikalkammer (GW Duisburg) erwiesen werden. Der nach Entleeren und Ablöschen aus dem Kammerinhalt von der losen Asche abgeseibte zumeist feinkörniger gewordene Perlkoks hatte denselben Aschegehalt wie der in die Kammer eingebrachte. Ebenso ist es bekannt, daß der aus der Schlacke von Wassergasgeneratoren ausgelesene Restkoks nicht ausgelaugt und aschearm, sondern von normaler Beschaffenheit ist. — Auch rechnerisch läßt sich der Vorwurf der Koksverschlechterung entkräften. Wenn aus einer Kohle mit 30% Kohlengasausbeute nur durch Naßbetrieb eine Mischgasausbeute von 50% erreicht wird, also bei einem Wassergasgehalt von 40% im Mischgas 20 m³ Wassergas auf 100 kg Kohle durch Dampfen in der Kammer erzeugt wurden, so war der Kohlenstoffbedarf dieser Wassergasmenge, der nach Geiperts eingehenden Berechnungen²⁾ zuverlässig 0,285 kg/m³ Kammerwasser-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 51 (1908) S. 1041.

²⁾ Gas- und Wasserfach 66 (1923) S. 130.

gas beträgt, etwa 5,7 kg C je 100 kg Kohle. Als Kohle wird hierzu eine gewaschene Nußkohle mit 5% Asche angenommen, die bei 65% Trockenkoksausbeute einen Koks mit 7,7% Asche ergibt, wenn die Kammern nicht gedampft werden. Wird diesem Koks obige Menge von 5,7 kg C entzogen, so steigt sein Aschegehalt auf 8,4%, also um 0,7%, wenn man die Form einer gleichmäßigen »Auslaugung« des Kohlenstoffs annimmt. Also selbst bei dieser Annahme würde bei ausschließlicher Wassergaserzeugung in der Kammer die Steigerung des Aschegehaltes in den Grenzen der Betriebsschwankungen durch Kohleverschiedenheiten liegen. Da jedoch nachgewiesenermaßen die meiste örtlich durch Kohlenstoffwegzehrung freigelegte Asche weggespült wird oder abfällt, ist die tatsächliche Ascheanreicherung höchstens ein Bruchteil des angegebenen gerechneten Betrages, also belanglos.

Um nicht den obenerwähnten Vorwurf einseitiger Betrachtung herauszufordern, muß noch auf folgendes hingewiesen werden. Jedes technische Urteil ist in gewissem Sinne zeitbedingt. Hier ist ausgegangen von der Annahme der jetzt allgemeinüblichen oder doch sich überwiegend durchsetzenden Verwendung gewaschener und gemahlener oder Feinkohle, mindestens feinkörnigen Materials. Für solches trifft das Gesagte zu. Wird ungemahlene Förderkohle mit stückigen Aschebestandteilen entgast, so ist es möglich, daß bei Koksstücken in der Gegend des Dampf-eintritts Aschestücke, die noch zum Teil in der Kokssubstanz hängen, den Koksstücken ein unscheinbares Aussehen geben. Ebenso ist bei trockener Kokskühlung die Möglichkeit gegeben, daß ein teilweise nicht abfallendes Ascheskelett die Kohlenstoffabzehrung durch das Dampfen noch erkennen läßt. Ferner ist bei weichem, besonders angriffsfähigem und zerklüftetem Koks aus gasreicher Kohle damit zu rechnen, daß die vorhandene Klüftung und Ribbildung bei starkem Dampfen stärker ausgeprägt wird. Auf die verschiedenen Ausnutzungsmöglichkeiten und Sondervorteile des Naßbetriebes wird in der nachfolgenden Besprechung der einzelnen Formen seiner praktischen Anwendung noch zurückgekommen.

Über den Naßbetrieb im allgemeinen sei aber zusammenfassend folgendes gesagt:

Als zweifellose Vorteile des Naßbetriebes sind hervorzuheben:

- a) die Ausnutzung der im Koks aufgespeicherten Wärme und die Herstellung einer gewissen, je nach den Betriebsverhältnissen verschiedenen Menge Wassergas ohne zusätzliche Beheizung,
- b) die Möglichkeit, gewisse zusätzliche Mengen Wassergas durch geringe zusätzliche Beheizung und ohne Arbeitsaufwand, Strombedarf usw. und ohne relativ höhere Anlagekosten herzustellen,
- c) die günstigere Restentgasung des Kammereinsatzes und die Verminderung der Gaszersetzungen zu Ende der Ausstezeit,
- d) die Verminderung des Arbeits- und Zeitaufwandes für Graphitieren.

Ferner ist allgemeinwirtschaftlich und betriebstechnisch hinzuweisen auf die besondere Eignung des Naßbetriebes in seinen verschiedenen Ausführungsformen in Verbindung mit anderen Betriebseinrichtungen zur Anpassung der Erzeugung an die Abgabeschwankungen, die bei den neuzeitlichen Gasverwendungsarten bei manchen Werken sehr erheblich sind. Die früher oft empfohlene Anpassung durch Einstellung der Benzolwäsche sollte bei der heutigen Treibstofflage nicht mehr in Betracht gezogen werden. Je nach den Anlage- und Betriebsverhältnissen kann der Naßbetrieb allein oder in Verbindung mit einer Wassergasanlage oder in Verbindung mit der für Vertikalöfen besonders geeigneten Starkgasbeheizung jeglicher Abgabeschwankung ohne weiteres entsprechen.

Hinsichtlich der oft bezweifelten Güte des Kammerwassergases ist festzustellen, daß dieses bei richtiger Einhaltung von Dampfmenge-, Zeit- und Temperaturverhältnissen hinsichtlich Güte, Dampferzeugung usw. dem Generatorwassergas praktisch gleichwertig ist. Auch im

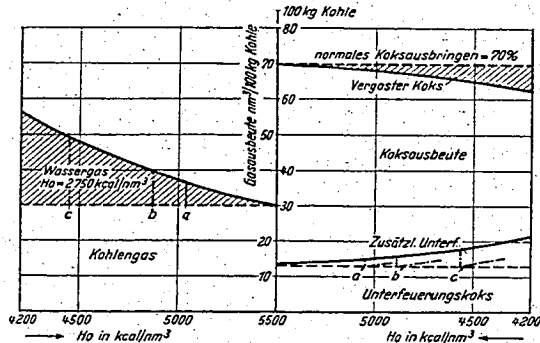


Abb. 50. Wassergaserzeugung durch äußere Wärmezufuhr.

Wassergasgenerator dürfen bekanntlich Dampfzusatz und Gasezeiten nicht wahllos angewandt werden.

Als neuere Betrachtungen zur Frage des Naßbetriebes verdienen besondere Erwähnung die Ausführungen Dr. Geiperts von 1926 mit Entgegnungen von Parade¹⁾ und vor allem die sehr umfassende kritische Betrachtung von Dr. Baum 1933²⁾, der darin die nebenstehende (Abb. 50) wertvolle schematische Übersicht gibt über die Zusammenhänge zwischen Heizwertminderung, Unterfeuerungsbedarf und Koks ausbringen. Das Koks ausbringen ist praktisch als nicht so stark gemindert zu erwarten, wie in der Kurve angegeben, weil in dieser die Graphitvergasung und teilweise Gaszerlegung nicht mitberücksichtigt ist. Die besonders bezeichneten Punkte bzw. Kurven a, b, c kennzeich-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 69 (1926) S. 249, 791.

²⁾ Gas- und Wasserfach 76 (1933) S. 397.

nen den durch Mitverwertung des Kokswärmeinhalts bedingten günstigeren Verlauf: a) bei nur kurzem Dampfen zu Ende der Ausstezeit, b) bei längerem Dampfen, c) bei kontinuierlichen Vertikalöfen (vgl. später). Die Fälle *a* und *b* zeigen den verhältnismäßig breiten Bereich einer Kammer-Wassergaserzeugung ohne praktischen Mehraufwand.

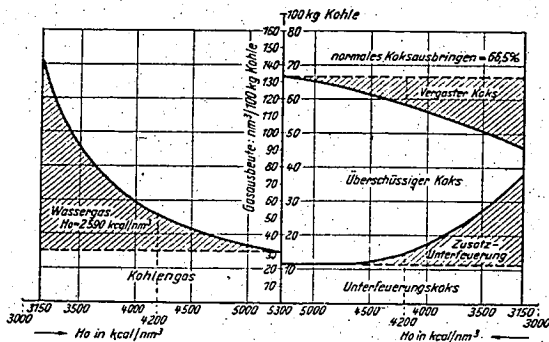


Abb. 51. Vollständige Vergasung in Devog-Vertikalöfen nach Sensicle.

Zum Beweis der extremen Möglichkeiten des Vertikalofen-Naßbetriebes dient die ebenfalls von Baum (l. c.) gebrachte Darstellung von weitestgehender Koksvergasung in Vertikalöfen (Abb. 51).

Die betriebsmäßigen Ausführungsformen des Naßbetriebes:

Das Dampfen zu Ende der Ausstezeit. Die betrieblich einfachste Form des Naßbetriebes, von deren Anwendung wohl nur in den seltensten Fällen abgesehen wird, ist das Dampfen zu Ende der Ausstezeit. Es ist zeitlich nicht grundsätzlich festgelegt, wird aber, wenn nicht ohne Wassergasgenerator gearbeitet wird, 10 bis höchstens 20% der ganzen Ausstezeit betragen. Die Menge bzw. Dauer des Dampfens muß auch verschieden gewählt werden je nach Ladegewicht und Ausstezeit der Kammern. Eine schmale 12stündige Kammer ist im allgemeinen stärker beheizt und für die in diesem Falle notwendige Wassergasbildung ohne äußere Wärmezufuhr günstiger, darf also stärker oder länger gedampft werden, als eine breitere 24stündige Kammer mit niedriger Gesamttemperaturlage, die für die Kammer-Wassergasbildung zwar eine ausreichende Gesamtwärmemenge, aber kein so günstiges Temperaturgefälle bietet. Der Bemessung der Dampfzufuhr ist im Betrieb besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Grundlegend sind dafür im Gasfach die Arbeiten von Geipert über die Dampfblendenmessung auf Grund der Bendemannschen Werte¹⁾. Der Dampfdruck durch Blenden beträgt demnach:

¹⁾ Gas- und Wasserfach 65 (1922) S. 444; Hütte 1924, I S. 535.

atü-Druck vor der Blende

0,3
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0

Durchgang in kg/cm²/Min

0,94
1,20
1,82
2,28
2,69
3,12
3,55

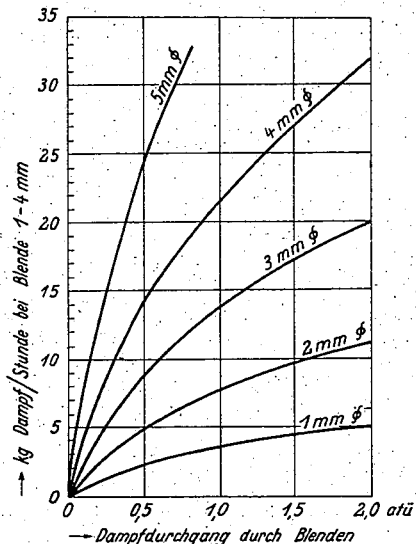


Abb. 52.

Die in Abb. 52 gegebene Kurvenschar gibt einen Anhaltspunkt für die bei verschiedenen Vordrücken durch verschiedene Blendenöffnungen gehenden Dampfmengen in kg/h, woraus die für eine Kammer zu wählenden Blenden oder Blendensätze je nach dem errechneten Dampfbedarf zu entnehmen sind.

Für die Wahl der Blendengröße gilt als ungefähre Richtzahl, daß der Kammer in der Dampfzeit höchstens soviel Dampf zugesetzt wird, daß die Wassergaserzeugung der normalen Gasleistung der Kammer je h entspricht. Eine Kammer von 2 t Ladegewicht, die bei 12 h Ausstezeit mit 2 h Dampf etwa 40% Ofengasausbeute geben soll, also etwa 65 m³/h, würde mit 55—65 kg/h zu dampfen sein. Aus vorstehenden Kurven ergibt sich hierfür z. B.

bei 2 Dampfzuführungen = Blenden zu 3,5 bis 4 mm bei 2 atü,
 » 3 » = » » 3 mm bei 2 atü oder
 3,5 bis 4 mm bei 1 atü.

Die Dampfumsetzung ist bei diesem Dampfen zu Ende der Ausstezeit die verhältnismäßig ungünstigste, weil der Dampf bzw. das Wassergas-Restdampfgemisch den bequemsten Weg zwischen Kokskuchen und Kammerwand strömt und die Koksberührung daher nicht vollkommen ist. Es ist auch vorgeschlagen worden, das Dampfen unterbrochen mit Zwischenpausen auszuführen, um dem Kokskuchen ein Wiederaufheizen zu ermöglichen. Diese Maßnahme ist bei richtiger Bemessung der Dampfzufuhr und -verteilung ganz überflüssig.

Die Kokskammer. Soll mehr als eine Restentgasung durch den Naßbetrieb erreicht werden, also eine Wassergaserzeugung größeren Um-

fanges, so muß versucht werden, die Dampfumsetzung zu verbessern, da der unzersetzte Dampfüberschuß nicht nur wertloser Ballast ist, sondern auch die Temperaturlage und damit die Güte des Wassergases beeinflußt. An Stelle des normalen Weges, die Wassergaserzeugung durch längeres Dampfen aller Kammern, also durch allgemeine Verlängerung der Ausstehzeit oder Dampfzeit, zu verstärken, ist vorteilhafter das »Kokskammerverfahren« (Devog)¹⁾. Dieses beruht darauf, daß die Hauptzahl der Kammern in normaler Ausstehzeit weiterarbeitet, eine oder mehrere Kammern aber — je nach Betriebsbedarf — überstehen bleiben, und zwar zur Vermeidung von Chargenverschiebungen um die einfache oder besser doppelte Ausstehzeit, also z. B. um 12 oder 24 h. Statt also z. B. 15 Kammern von 12 auf 14 h überstehen zu lassen; wodurch 30 Dampfstunden gewonnen würden, bleibt 1 Kammer 24 h unter Dampf oder 1 zu 24 und 1 zu 12 h. Neben dieser Betriebsvereinfachung ist aber das wesentliche, daß diese Kokskammer nach dem normalen Ausstehen oben planiert und mit Perlkoks aufgeladen wird, wodurch eine Dampfstaung und damit eine innige Durchdringung aller Klüftungen des Kokskuchens und mit der größeren Umsetzungsfläche ein besserer Dampfumsetzungsgrad erreicht wird. — An Stelle der Koksaufladung ist auch die Aufladung von Kohle vorgeschlagen und benutzt worden. Solche Aufladung hat zwar nebenbei den Vorteil einer Karburierung des Kammerwassergases, doch ist nach einigen Stunden, sobald diese Aufladung entgast und gesintert ist, der Zweck der Dampfstaung verloren; außerdem widerspricht eine Kohlenaufladung dem Zweck des verlängerten Ausstehens, durch das doch der Kohlendurchsatz verringert werden soll.

Der Erfolg dieser Dampfstaung im Sinne eines besseren Wirkungsgrades der Dampfumsetzung ist durch Betriebsversuche¹⁾ und im Dauerbetrieb erwiesen, man erreicht damit einen Dampfverbrauch in Grenzen von 0,45 bis 0,75 kg/m³ Kammerwassergas, also die gleiche Größenordnung, wie im Wassergasgenerator oder auch noch günstigere. — Über das Ausreichen der Wärmezufuhr bei diesem Dauerdampfen gibt die Kammer selbst die beste Auskunft. 12stündige 3-t-Kammern waren bei einem Zusatz von 80—100 kg Dampf/h (entsprechend der obengegebenen Dampfmengeberechnung) durchweg nach 24 h merklich heißer. Ein höherer Dampfzusatz wäre also zulässig, doch ist es aus Rücksicht darauf, daß dann die gleiche größere Dampfmenge in der normalen Dampfzeit zu Ende der Ausstehzeit (s. oben) schlechter umgesetzt würde, von Fall zu Fall zu entscheiden, ob ein allgemein höherer Dampfzusatz ratsam ist. Abgesehen von der besseren Dampfumsetzung hat dieses Kokskammerverfahren den Erfolg einer Steigerung der Mischgasausbeute durch Mehraufnahme von Teerdämpfen (vgl. später) ergeben.

¹⁾ Gas- und Wasserfach 71 (1928) S. 231; 73 (1930) S. 133; — Didier DRP 487975.

Die Dampfüberhitzung. Die Verwendung trockenen, gut überhitzten Dampfes für die Wassergaserzeugung in der Kammer ist von besonderer Bedeutung für die Dampfumsetzung. Nicht allein die vom überhitzten Dampf mitgebrachte fühlbare Wärme ist hierbei als das Entscheidende anzusehen, sondern hinzu kommt die Tatsache, daß der zugeführte Dampf, mag er auch an der Erzeugungsstelle überhitzt gewesen sein, doch oft je nach Länge der Leitung wenig oder gar nicht überhitzt zum Ofen gelangt und dann erst am Koks überhitzt wird. Die Temperaturlage des an der Umsetzung beteiligten Kokses muß jedenfalls bei Zufuhr überhitzten Dampfes günstiger für Umsetzungsgrad und Wassergasgüte sein. — Je niedriger die ankommende Dampftemperatur ist, desto größer muß die einzubauende Überhitzerfläche bemessen werden. Nasser Sattdampf sollte, wie erwähnt, der Überhitzerschlange nicht zugemutet werden, da ihre Wirkung durch etwa nötige Verdampfung von Wasserdampf außerordentlich beeinträchtigt wird. Die Berechnung der Überhitzerfläche nach der Formel $F = \frac{Q}{k \cdot t_m}$ ist insofern erschwert, als es sich meist um wechselnden Bedarf mit zeitlichen Unterbrechungen handelt. Wird strömende Wärme ausgenützt, z. B. bei Einbau im Fuchs, in der Rekuperation oder in oberen Heizkanälen, so kann man

$$t_m = \frac{t_{RK} + t_{RA}}{2} - \frac{t_{DK} + t_{DA}}{2}$$

(Differenz der Mittel der Rauchgas- und Dampftemperaturen, die vorhanden bzw. zu erreichen sind) mit einiger Sicherheit ermitteln. Bei nicht zu günstiger Annahme für die Konstante k , die in der Literatur sehr verschieden angegeben wird, mit höchstens 25, besser 20, kann der Überhitzer mehr oder weniger ausreichend berechnet werden, je nachdem man den Wärmebedarf Q als Spitzenmenge oder Durchschnitt einsetzt. Wird der Überhitzer dagegen in Ofenwänden oder Seitenwänden, zwischen den Kammerköpfen oder dgl. im Bereich strahlender statt strömender Wärme eingebaut, so kann nicht nach obiger Formel, sondern nur nach Versuchs- oder Erfahrungswerten gearbeitet werden. Betriebsversuche, die einen zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen der Höhe der Dampftemperatur und der Ausbeutesteigerung oder Gasgüte beweisen, liegen in der Literatur nicht vor, wohl aber vielfache Dauerbetriebsbeobachtungen über die steigende Wirkung überhitzten Dampfes im allgemeinen. In neueren Ofenanlagen wird deshalb auf Überhitzereinsatz besonderer Wert gelegt. Sind Einzelüberhitzer auf mehrere Öfen verteilt, so empfiehlt sich gegebenenfalls deren Parallelschaltung durch Querverbindung der Zu- und Abgangsleitungen, um bei stärkerer Entnahme an einem Ofen die Leistung weniger beanspruchter anderer Überhitzer mit auszunützen.

Der schädigende Einfluß des Naßbetriebes auf das feuerfeste Material wird wohl meist überschätzt. Im Vergleich mit der normalen täg-

lich mehrfachen Abschreckung durch das Einfüllen der nassen kalten Kohle ist die Zuführung überhitzten Dampfes und die allmähliche Temperatursenkung des Koksstückens durch die Wassergasbildung sicher unbedenklich. Dagegen muß stundenlanges Einblasen von nassem Satttdampf zweifellos für die Kammerfußsteine auf die Dauer schädlich sein.

Die Spülentgasung. Wie in der Schmelerei durch Spülentgasung mit heißen Gasen ein schonender Abbau der Kohlebestandteile erreicht wird, so liegt es nahe, auch in der Hochtemperaturentgasung bis zu einem gewissen, eben durch die hohe Temperatur begrenzten Grade von solchem Spülvorgang Gebrauch zu machen, um durch Verhütung unnötiger Gaszerspaltungen ein hochwertiges, entsprechend mehr Wassergas aufnehmendes Kohlgas zu erhalten. Wie für Verwendung von überhitztem Dampf, so sind auch für die oft empfohlene und versuchte Spülentgasung weniger exakte Versuchszahlen als praktische Betriebserfahrungen vorhanden¹⁾. Zweifellos kann Entgasung mit Spüldampfzusatz — ein anderes Spülgas kommt für den Gaswerksbetrieb praktisch nicht in Frage — nur bei überhitztem Dampf eine von keinerlei störenden Erscheinungen beeinflusste Wirkung haben. Nasser Dampf und auch zu schwach überhitzter in großer Menge, muß die Leistung der Vertikalkammer in demselben Maße herabdrücken, als ihr Erhitzungswärme durch den Dampf entzogen wird. Bei zu starkem Wärmeentzug bleibt der untere Teil der Kohleladung mangelhaft entgast und verkocht und hindert infolgedessen das Fallen der Kammer. Die für einen Betrieb tragbare Menge eines Spüldampfzusatzes wird daher zweckmäßig von geringem Zusatz ausgehend durch allmähliche Steigerung ermittelt. Spüldampf vor Ablauf der halben Ausstehzeit hat im allgemeinen wenig Erfolg, um so weniger, je nasser die Kohle in die Kammer kommt. Ein sehr geringer Spüldampfzusatz von Beginn der Entgasung ab wird mehrorts angewandt, um dem Überhitzer immer etwas Dampf durchgang zu geben und für Offenhalten der Dampfeintrittöffnungen zu sorgen.

Das Abwärtsdampfen. Der neuerdings empfohlene (Klönne) sog. »Bac run-Prozeß« für die Vertikalkammer ist besser deutsch und richtiger als Abwärtsdampfen oder Abwärtsgasen zu bezeichnen. Der Begriff Bac run ist aus der Herstellung karburierten Wassergases in England übernommen und bedeutet daselbst einen besonders in den automatisierten Anlagen üblichen zeitweiligen Rücktransport der in den Überhitzer und Karburator abgewanderten Wärme in den Generator dadurch, daß der Dampf für eine Abwärtsgasung erst im Karburator und Überhitzer rückwärtslaufend hochüberhitzt wird. Bei dem Abwärtsdampfen in der Vertikalkammer handelt es sich aber um eine dem normalen Generator-Wassergasvorgang angegliche Arbeitsweise, die natür-

¹⁾ Wehrmann F., Deliwa-Ztg. 29 (1935) S. 23.

lich voraussetzt, daß zwei getrennt absperrbare Gasabgänge oben und unten vorhanden sind. Diesem sehr einfach erscheinenden Gedanken muß eine grundsätzliche Bedeutung zuerkannt werden, vor allem wenn die Einrichtung mit einfachen Mitteln und geringer Bedienung so getroffen werden kann, daß nicht ständig nur von oben gedampft, sondern in einer Dampfzeit wenigstens einmal gewechselt wird. Bei alleinigen Abwärtsgasen findet ein dem grundsätzlichen Aufbau der Vertikalofenbeheizung zuwiderlaufender starker Wärmetransport von oben nach unten statt, der dann naturgemäß durch höhere Unterfeuerung auszugleichen wäre¹⁾; außerdem ist eine dem unteren Deckel gefährliche Wärmestauung im Kammerfuß zu befürchten. Dagegen wirken bei gewissem Wechsel, wie durch maßgebende Betriebsversuche erwiesen, offenbar die verschiedensten Einflüsse ausbeutesteigernd zusammen. Außer einem günstigen Ausgleich der durch einseitiges Dampfen verschobenen Temperaturlage (hierin liegt die einzige Vergleichsfähigkeit mit »Barrun«) wirkt beim Abwärtsgasen eine selbsttätig durch Überwindung des inneren Auftriebs sich auswirkende Dampfstauung im gleichen Sinne, wie oben bei der Kokskammer erwähnt, umsatzverbessernd. Weiter ist anzunehmen, daß die Kohleteile, die erfahrungsgemäß bei nicht genügend achtsam eingebrachter Deckelladung zu tief auf die Deckelhaube zu liegen kommen, sowie in die Deckelladung niedergeschlagene Teerteile durch den hochüberhitzten Abwärtsdampf restlos spüentgast werden. Die zweckmäßigste Form der Anwendung dieses Abwärtsdampfens wird sich erst aus weiteren Betriebserfahrungen ergeben.

e) *Betriebsergebnisse von Vertikalöfen.*

Betriebszahlen. Für die Abnahme von Ofenanlagen und Nachprüfung der für sie gegebenen Gewährleistungen sind vom Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern Normen aufgestellt worden, die 1930 in ihrer vorläufigen Fassung bekanntgegeben wurden²⁾ und deren endgültige Fassung in Band I/8 wiedergegeben ist. Obwohl vom Gasinstitut diese Normen bei ausgeführten Garantieversuchen schon lange benutzt werden und sie auch sonst als Richtlinie dienen, so ist doch bei den in der Fachliteratur in großer Zahl zu findenden Angaben über Leistungsversuche die Einheitlichkeit der Ausführung, Berechnung und Wiedergabe sehr zu vermissen und es ist praktisch unmöglich, solche Ergebnisse gegeneinander kritisch abzuwägen und Schlüsse daraus zu ziehen. Meist sind auch die Versuche auf einen besonderen Versuchszweck abgestimmt und eignen sich insofern nicht zum Vergleich mit andersgearteten Versuchen. Für den Vergleich zwischen Trocken- und Naßbetrieb sowie zwischen Retorten- und Kammerbetrieb liegen genauere Versuchsangaben vor und sind, obwohl heute nicht mehr im früheren Maße von Bedeutung, als Kennzeichen der Entwicklung beigefügt.

¹⁾ Baum K., Gas- und Wasserfach 76 (1933) S. 397.

²⁾ Gas- und Wasserfach 73 (1930) S. 554.

Zahlentafel 4.

Vergleich Trocken- und Naßbetrieb unter gleichen Voraussetzungen (66) in Vertikalretorten.

Werk	Betriebsart	Gasausbeute 15°/760 %	Oberer Heizwert kcal/Nm ³	Trockenkoks- ausbeute %	Unterfeuerung	
					% kg Kohle	% m ³ Gas
M	trocken . . .	31,6	5590	64,0	14,5	49,2
M	naß	38,5	5140	63,8	14,1	39,4
Z	trocken . . .	33,9	5645	69,3	13,9	44,0
Z	naß	38,5	5365	67,2	15,0	41,8

Zahlentafel 5.

Vergleich Vertikalretorten- und Kammerbetrieb unter gleichen Voraussetzungen (67).

Werk	Ofenart	Ent- benzoliert Gas- ausbeute 15°/760	Oberer Heiz- wert kcal/Nm ³	Benzol- aus- waschung kg % kg Kohle	Gasausbeute einschl. Benzol gerechnet 15°/760	Unterfeuerung (reiner Naßbetrieb)	
						% kg Kohle	% m ³ Gas
M	Vertikalretorten	56,3	4205	0,69	60,5	28,9	51,3
S	Vertikalkammern	62,8	4202	0,46	65,6	26,8	42,7

Der Naßbetrieb zeigt demnach eine etwa 8—12proz. Steigerung der Heizwertzahlausbeute gegenüber dem Trockenbetrieb.

Der Vertikalkammerbetrieb ergibt eine 10—12proz. Mehrausbeute als der Vertikalretortenofen.

Die weiter gegebene Zusammenstellung einiger Betriebszahlen von Vertikalöfen aus meist neuerer Zeit stellt gemäß obengenannten

Zahlentafel 6.

Neuere Betriebsergebnisse von Vertikalkammeröfen (Abnahmeversuche).

Jahr	Ladung t/Kammer	Std. Aus- stehzeit		Kohle		Benzol- auswaschung g/m ³	% Gas- ausbeute		Oberer Heizwert kcal/Nm ³	Heizwertzahl 0°/760/Rein- kohle	Inerte Best. %	Einzel- oder Zentr.-Gen.	Unterfeuerung % Reinkoks Reinkohle
		insgesamt	davon gedampft	% Reinkohle	% fl. Bestandt.		15°/Roh- kohle	15°/Rein- kohle					
1922	4,8	24	5	83,5	—	—	47,6	57,0	4535	2420	10,2	E.G.	18,9
1928	2,5	12	2	87,8	—	—	48,0	54,9	4455	2280	12,0	Z.G.	15,0
1929	2,0	20	5	88,8	—	—	52,8	59,5	4550	2520	9,9	E.G.	14,5
1931	6,3	24	2 1/2	88,8	31,8	—	48,6	54,7	4580	2320	14,4	Z.G.	11,2
1932	1,5	16	5	92,0	33,2	—	61,2	66,7	4350	2700	5,2	E.G.	21,0
1933	2,0	15	5 1/2	85,6	28,5	10,0	53,5	62,4	4210	2450	8,5	E.G.	13,3
1935	2,6	12	4	92,1	—	—	43,6	47,3	5075	2240	6,3	E.G.	11,7
1936	1,7	12	2—3	89,1	28,8	—	40,2	45,3	4995	2100	—	E.G.	12,0

Gründen lediglich einen Versuch einiger Angaben aus der Praxis für die Praxis dar, die als Anhaltspunkte, nicht aber dem gegenseitigen Vergleich dienen sollen, weshalb dabei Orts- und Firmennamen grundsätzlich vermieden sind.

Beschaffenheit von Gas und Nebenprodukten. Die Erzeugnisse der Vertikalkammeröfen entsprechen im wesentlichen denen der Vertikalretortenöfen, können aber nicht so einheitlich beurteilt werden wie jene, weil die außerordentlich verschiedenen Größen der Vertikalkammern in dieser Hinsicht nicht als einheitliche Form betrachtet werden können. So müssen 24stündige Großkammern naturgemäß etwas anderes ergeben als 12stündige schmale Kammern, die mit höheren Temperaturen arbeiten als bei den Retorten üblich war. Daher ist Teer aus 12stündigen Vertikalkammern in seiner Gesamtbeschaffenheit dem Horizontalofenteer näher als dem früheren Vertikalretortenteer. Dagegen ist Teer aus weniger scharf betriebenen 24stündigen Kammern wieder dem Vertikalretortenteer sehr ähnlich, hat zwar etwas mehr Pech, aber noch viel Leichtöle. Die Benzolausbeute ist in der Kammer etwas geringer, vermutlich infolge teilweiser Krackung. Naphthalin- und Cyanwasserstoffgehalt des Gases sind auch bei den Vertikalkammern günstiger als bei anderen Ofenbauarten, der Ammoniakfall, dem Naßbetrieb entsprechend, ebenso hoch, wie bei den Vertikalretorten. Hinsichtlich der Koksbeschaffenheit erscheint es zwecklos, einen Vergleich anzustellen. Beim Übergang von der Retorte zur Kammer wurde hervorgehoben, daß die Kammer mehr grobstückigen Koks ergibt, was bei gleicher Kohle zu erwarten war. In neuerer Zeit ist aber die Beeinflussung der Koksqualität durch die Kohlenauswahl und Kohlenvorbehandlung so in den Vordergrund getreten, daß die Koksqualität für die Auswahl eines Ofensystems nicht allein entscheidend sein kann.

Leistung und Lebensdauer der Vertikalöfen. Einen Überblick über die im Laufe der Jahre erreichte Leistungssteigerung der Vertikalöfen gibt der Vergleich des Durchsatzes in t Kohle je m² Grundfläche und Tag. Als Grundfläche ist die des Ofenblocks (Kammern mit Generator und Luftrekuperation bzw. Gas- und Luftvorwärmung) gerechnet. Die Zahlen geben normalen Naßbetrieb an mit Dämpfen zu Ende der Ausstehtzeit und würden sich bei Trockenbetrieb um etwa 20% erhöhen.

Ofen	m Höhe	t/Ret. (Kammer)	Ausstehtzeit	t/m ² /Tag
10er Vertikalretorten	4	0,625	12	0,43
18er »	4	0,625	12	0,56
18er »	5	0,75	12	0,67
6er Vertikalkammern	4,7	1,25	12	0,58
6er »	5,2	2,1	12	0,71
5er »	5,8	2,8	12	0,71
6er »	6,5	3,1	12	0,91
6er »	7,6	3,9	12	0,92
6er »	6,5	5,2	24	0,76
6er »	7,5	7,0	24	0,85

Daß die Leistung der 24stündigen Öfen bei diesem Vergleich weniger günstig abschneidet, obwohl man doch anzunehmen geneigt ist, daß durch den größeren Kammerinhalt der 24stündigen breiteren Kammer der Durchsatz je m² Grundfläche erhöht werden müsse, ist darin begründet, daß die Ausstehzeit bei einer bestimmten Wandtemperatur nicht linear, sondern quadratisch mit der Kammerbreite zunimmt (Schläpfer)¹⁾.

Hinsichtlich der Lebensdauer stellten die Vertikalretorten s. Z. gänzlich neue Begriffe auf durch Betriebszeiten je Retorte, die bis dahin noch nicht entfernt erreicht waren. Wenn dies auch zum Teil mit darauf zurückzuführen war, daß ihre Ausbildung in eine Zeit der fabrikatorischen Verbesserung der feuerfesten Erzeugnisse fiel, so war die hohe Lebensdauer doch vornehmlich mit im System begründet, das an sich wegen der an die Retorte gestellten Anforderungen sehr stabil war; außerdem fiel der schädigende Einfluß von Stoß- und Ladewerkzeug oder Maschinen weg und auch die Verminderung der rauhen Graphitierarbeit war sehr von Bedeutung.

Die Dessauer Vertikalofen-Gesellschaft gab 1912 die Lebensdauer der Retorten mit 1100—1600 Feuertagen an, doch wurde diese als Gewährleistung aufzufassende Angabe schon damals in der Praxis weit übertroffen. Wenn auch solche Grenzzahlen leicht zu falschen Verallgemeinerungen führen, besonders wenn es sich um außergewöhnliche, einmalige Fälle handelt, so stellt doch ein wiederholtes Erreichen von hohen Grenzzahlen die bei betriebsmäßig guter Handhabung wirklich mögliche Leistung einer Anlagenart dar. Nur insofern sind solche Zahlen mit Vorsicht aufzunehmen, als es falsch wäre, Anlagen mit ständig voller Belastung mit anderen zu vergleichen, die vorwiegend unterbelastet waren.

Angaben über Lebensdauer von Vertikalretortenöfen brachte Geipert mit 4000 Feuertagen und mehr.

Diesen Zahlen schließen sich die Erfahrungen über die Lebensdauer von Vertikalkammern würdig an. Neben schwachbelasteten kleineren Kammern, die nach 12 ununterbrochenen Betriebsjahren noch eine nicht abzusehende weitere Betriebsdauer erwarten lassen, sind von hochbeheizten, ständig 12stündig im Naßbetrieb arbeitenden großen Kammern Betriebszeiten von 10 Jahren wiederholt überschritten worden.

Diese hohe Lebensdauer des Vertikalofens, verbunden mit dem im Vergleich zu anderen Ofenbauarten viel geringeren Kosten- und Zeitaufwand für Instandhaltung von Bedienungsmaschinen ist bei der Wahl eines Ofensystems neben den an sich schon sehr günstigen Anlagekosten nicht außer Betracht zu lassen.

¹⁾ Eidg. Mat.-Prüf.-Ans. Techn. Hochsch. Zürich 1935, Mon.-Ber. 96.

c) Vertikalofenbetrieb in Verbindung mit Verfahren zur Heizwerterhöhung.

α) Die Teerkarburierung in der Kammer.

Das im Wettbewerb der Fachfirmen, der Forscher und der Betriebe ständig gesteigerte Bemühen, höhere Gasausbeuten zu erzielen, hatte in der gründlichen Durchbildung und Anwendung des Naßbetriebes der Vertikalkammern zu Höchstleistungen der Gaserzeugung geführt; aber gerade deshalb lag der Gedanke nahe, die durch den Heizwert des Wassergases zwangsläufig gegebene Grenze mengenmäßig doch zu überschreiten oder auch trotz einer Ausbeutesteigerung den Heizwert nicht zu sehr absinken zu lassen. Das nächstliegende war die unmittelbare Übernahme der Erfahrungen der Herstellung karburierten Wassergases, wobei die heiße Koksfüllung der Vertikalkammer an die Stelle des aufgeheizten Gitterwerks des Karburators trat. Da aber der Karburator wesentlich andere Durchgangsquerschnitte und Reaktionsräume darstellte, als sie in der selbst nach Zusammensintern des Kokskuchens noch vollgefüllten Vertikalkammer zur Verfügung stehen, war eine unmittelbare Nachahmung und das Erreichen gleicher Ergebnisse von vornherein nicht zu erwarten. Die Art der Karburierung in der Vertikalkammer hat daher zu den verschiedensten Versuchen Anlaß gegeben. Abgesehen von der Ausführungsform kam es auch auf die Wahl des Karburiermittels sehr an; denn es muß grundsätzlich als wesensfremd angesehen werden, zur Heizwertsteigerung eines Steinkohlengases fremde Karburiermittel thermisch zu zerschlagen und dabei unter Verlust des Wirkungsgrades dieser Umsetzung insgesamt eine geringere Ausnützung derselben zu erreichen, als bei ihrer unmittelbaren Verwendung zu Heiz- oder sonstigen Zwecken erreichbar wäre. Etwas anderes ist es, wenn es sich um den der Spitzendeckung dienenden Einsatz der Wassergas-Karburieranlage handelt. Soll aber die Karburierung von Vertikalkammern eine ständige Einrichtung sein, so ist es grundsätzlich richtiger, nicht auf betriebsfremde Materialien zurückzugreifen, sondern den im Gaswerkbetrieb anfallenden Steinkohlenteer als alleinigen Zusatzstoff in Betracht zu ziehen. Diesem Bemühen treten aber Schwierigkeiten entgegen, die in der chemischen Natur des Steinkohlenteeres liegen und sich deshalb trotz vieler Versuche bis zu einem gewissen Grade als unüberwindlich erwiesen haben. Nach Aufhäuser ist anzunehmen, daß der Sauerstoffgehalt des Steinkohlenteeres bei der thermischen Behandlung den verfügbaren Wasserstoff so weitgehend bindet, daß der Teer insgesamt an dem für weitere Umlagerung von C-H-Verbindungen erforderlichen Wasserstoff verarmt. Daher können sich solche C-H-Verbindungen dann nur unter weitgehender Abspaltung von festem Kohlenstoff (Graphit) bilden und doch noch vorwiegend in Form wärmebeständiger Kohlenwasserstoffe anfallen, die nicht in Gasform in das Gasgemisch übergehen, son-

dem wieder als Teer weggehen. Steinkohlenteeröle sind nach ihrer chemischen Natur und praktisch besser geeignet als der Teer selbst, aber auch gegen deren Verwendung bestehen grundsätzliche Bedenken, weil sie bereits ein Veredelungsprodukt darstellen, das, zumal bei der jetzigen energiewirtschaftlichen Lage Deutschlands, nicht ohne weiteres in Frage kommen sollte. Natürlich sind die bei den vielerlei Versuchen und Versuchsanordnungen erreichten Ergebnisse je nach den Versuchsbedingungen in mancher Hinsicht verschieden, da die Teerbeschaffenheit, die Temperatur und Größe des Reaktionsraumes, die Menge und Temperatur des zur Teerzerstäubung benutzten Dampfes, u. U. auch katalytisch wirkende Eigenschaften des Kokes oder sonstige Begleitumstände den Erfolg in gleicher oder auch entgegengesetzter Richtung beeinflussen. Trotzdem ist bei allen Versuchen das Endergebnis in der Größenordnung übereinstimmend, daß aus dem Steinkohlenteer für Karburierzwecke kein seinem Wärme- und Kohlenwasserstoffinhalt gleichwertiger Heizwertverbessernder Erfolg erreicht werden kann. In den nachfolgenden Versuchsberichten sind neben den Ergebnissen der Steinkohlenteerkarburierung zum Vergleich auch solche mit Steinkohlenteeröl und anderen Karburierölen angeführt, da ihre Verwendung in Sonderfällen immerhin begründet sein kann. Ferner kann auch Karburierung mit Braunkohlenteer in Gebieten starker Braunkohlenförderung örtliche Berechtigung haben.

Die Versuche der Karburierung von Vertikalkammergas mußten anstreben, das mit einer Zerstäuberdüse in die Kammer einzuführende Teerdampf-Wasserdampfgemisch mit dem glühenden Koks-»Gitter« in möglichst innige Berührung zu bringen. Außerdem kann das so erzeugte karburierete Wassergas durch Dampfen der Kammer von unten mit weiterem Wassergas gemischt werden. Letztere Arbeitsweise hat den Vorteil, daß das Kammerwassergas durch ständige Wärmerförderung von unten nach oben den Wärmeverbrauch ersetzt und dadurch ein längeres Karburieren zuläßt. In diesem Falle kann auch die Wasserdampfmenge zum Teereinblasen geringer gehalten werden.

Bei den ersten Versuchen an Vertikalkammern¹⁾ im Gaswerk Iserlohn wurden durch ein ca. 2 m tief in den Kokskuchen eingebrachtes

Zahlentafel 7.

Werk	Karburiermittel	Erreichter oberer Heizwert	Verbrauch an Karburiermittel		Dampfverbrauch kg/m ³ W-Gas
			g/m ³ W-Gas	g/1000 kcal	
I K I	Steinkohlenteer . . .	3620—3690	290—350	84—95	0,4—0,5
	»	3850	300—360	—	
K	Steinkohlen-Mittel- und Schweröl . . .	4200—4300	320	76	0,4—0,5
	Karburieröl	5000 u. mehr	460	75—90	

¹⁾ Schuhmacher E., Gas- und Wasserfach 77 (1934) S. 65.

Absaugerohr die in den Kammerkopf eingeblasenen Teer-Wasserdämpfe durch diese Kokssäule hindurchgesaugt; das Absaugerohr war an die Ofengasleitung unmittelbar angeschlossen und die Teervorlage wurde indessen abgesperrt (Abb. 53). Einfacher war die nächste Versuchsanordnung (Kopenhagen) (Abb. 54), die an 6-t-Vertikalkammern mit 3 Füllöffnungen durch die mittlere Öffnung eine den Füllhals voll ausfüllende und somit den Leerraum des Kammerkopfes in 2 Hälften teilende Feinkoksladung anwandte. Das entgegengesetzt dem Gasabgang eingeblasene Teer-Dampfgemisch fand bei dieser Kammergröße einen hinreichend langen Umweg durch den Kokskuchen, so daß das Ergebnis trotz der anscheinend primitiven Anordnung besser war. Bei der Vergasung des reaktionsfähigeren Karburieröls erwies sich die eingebrachte Trenn-

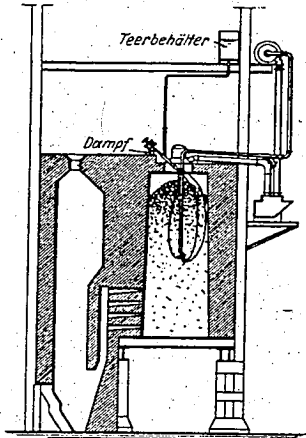


Abb. 53. 1. Versuchsanordnung für karburiertes Wassergas.

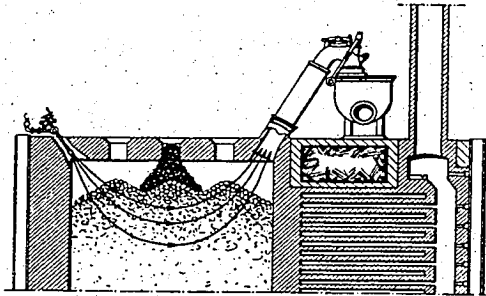


Abb. 54. 2. Versuchsanordnung für karburiertes Wassergas.

wand nicht nur als überflüssig, sondern als schädlich, da mit solcher der Ölverbrauch höher war, wohl durch Niederschlagen an der noch nicht genügend durchheizten Koksschüttung.

Weitere Ausführungsformen dieser Teer-Dampfgemischvergasung nach Dr. Otto und Schumacher wurden in dem nach gleichem Prinzip arbeitenden Frankfurter Krackgenerator und verschiedenen anderen Ofenbauarten mit ähnlichem Erfolg durchgebildet. Bei der gegenüber der ausgestandenen Ofenkammer etwas niederen Temperatur im Krackgenerator wurden in diesem mit Vertikalofenteer günstigere Ergebnisse erzielt¹⁾, ein karburiertes Wassergas mit 4200 kcal ergab sich bei Verarbeitung von 250 g Teer mit 1,2 kg Wasserdampf je m³. In der Vertikalkammer sind aber günstigere Ergebnisse als die obengenannten infolge der Natur der Vorgänge nicht zu erreichen.

Gegenüber der Erklärung von Baum²⁾, daß die Verkrackung in

¹⁾ Steding A., Gas- und Wasserfach 73 (1930) S. 49.

²⁾ Gas- und Wasserfach 76 (1933) S. 397.

der Kammer überwiegend weiter nichts darstelle als eine Vergasung des gebildeten Teerkokes, betont Steding¹⁾, daß die Berechtigung eines solchen, einer Teervernichtung gleichkommenden Verfahrens ganz vom Marktpreis und der Absetzbarkeit des Teeres abhängt. Dieser grundsätzlich nicht abzulehnenden Auffassung ist nur bei der jetzigen Energiewirtschaft Deutschlands entgegenzuhalten, daß jedes eine mögliche Veredelung umgehende Verfahren anfechtbar ist.

Rein preismäßig liegen die Verhältnisse so, daß bei einem üblichen Teerpreis von 3,5 bis 4 Pf./kg und einer — von Steding²⁾ angegebenen — Mehrerzeugung von 7,1 m³ auf 100 kg Kohle, unter Vergasung der dieser Kohlenmenge entsprechenden 4 kg Teer, die 1000 kcal im karburierten Wassergas etwa 0,5—0,6 Pf. kosten, also einen in größeren Werken vergleichbaren Preis darstellen.

Technisch ist für den Dauerbetrieb einer solchen Teervergasung nicht zu verkennen, daß er für den Betrieb im Hinblick auf die Führung der Dampf- und Teerleitungen und die notwendige besondere Überwachung eine nicht ohne weiteres zu rechtfertigende Betriebserschwerung bedeutet.

Während, wie erwähnt, bei den für Deutschland maßgebenden Voraussetzungen sowohl die Teervergasung wie die Karburierung mit bereits veredelten Teererzeugnissen grundsätzlich nicht oder nur als Notbehelf bzw. für Spitzendeckung in Betracht zu ziehen sind, liegen die Verhältnisse im Ausland mehrfach anders. So wird die Teerkarburierung in Spanien, Frankreich u. a. bei niedrigen Teerpreisen in wesentlichem Umfange angewandt und sind Anlagen dieser Art in diesen Ländern verbreiteter als in Deutschland.

β) Das Jenaer Verfahren.

Die erwähnten Gründe, daß die Karburierung mit Teer eher einer Teervernichtung als Teerverwendung gleichkommt und die Erkenntnis, daß wesentliche Teile des Teeres sich nicht für normale Karburierung eignen, gaben Anlaß zu einer ebenso stetigen Förderung und Prüfung des anderen Karburierverfahrens mit Teer, nämlich der Verwendung des Teeres oder der Teerdämpfe »in statu nascendi«, solange er sich noch in heißem Zustande in Dampfform in der Kammer befindet. — Wie immer, hat auch dieses Verfahren oder Arbeitsprinzip gewisse Vorläufer, die mit der Entwicklung des neuesten Standes an sich nichts zu tun haben, die aber eine Grundrührung oder einen Anhaltspunkt hergegeben haben oder die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges durch ähnliche Beobachtungen beweisen.

Schon in den ersten Zeiten des Vertikalretortenbetriebes versuchte Geipert durch Füllung einzelner Retorten eines Ofens oder Ofenblocks

¹⁾ Gas- und Wasserfach 75 (1932) S. 374.

²⁾ Gas- und Wasserfach 75 (1932) S. 374.

mit Perlkoks bzw. durch Überstehenlassen ausgegaster Retorten und langzeitiges Dampfen derselben ein Zusammenbringen von heißem Wassergas mit heißem teerhaltigem Gas. Daß bei solchem Zusammenreffen ein verhältnismäßig größerer Heizwertinhalt aufgenommen, also eine erhöhte Menge Mischgas erreicht werden kann, wurde im betriebmäßigen Gebrauch der obenerwähnten Kokskammern (S. 67)¹⁾ erwiesen. Mit zunehmender Zahl Kokskammern, also mit zunehmender Beimischung ständig dem Rohgas der Kohlekammern zuströmenden heißen Kammerwassergases stieg bei sonst gleichen Voraussetzungen die Mischgasausbeute von 54 auf über 58% bei Besetzung von $\frac{1}{3}$ der Kammern als Kokskammern (GW Duisburg).

Wirkungsvoller als diese Mischung von Teernebeln mit Wassergas im Produktionsrohr, also nach bereits teilweiser Abkühlung, mußte diese

Mischung sein, wenn sie noch in der Kammer selbst ermöglicht werden kann. Diesen Gedanken versuchten 1926—27 unabhängig voneinander W. Bueb in Rostock und Gülich in Jena durch Über-schichten der nicht vollgefüllten Kohle-ladung mit einer starken Perlkoksladung. Die Entwicklung der von Gülich beson-ders vielseitig und über lange Zeiten be-triebsmäßig durchgeführten Versuche nahm folgenden Gang, der wegen der mit auf ihnen aufgebauten Weiterbildung des Verfahrens von besonderem Interesse ist²⁾. Ausgangspunkt der Versuche war die Beobachtung, daß in der ersten Zeit der Entgasung eine Drucksteigerung in der Kammer eintritt, die dadurch be-gründet ist, daß die an den heißen Kam-merwänden sofort beginnende Gas- und Teerentbindung auf dem Wege durch die noch nicht angewärmten oberen Teile der Kohleschüttung eine Kondensation von Teerbestandteilen und damit eine den Gasdurchgang hemmende Verkrus-tung der oberen Zone bewirkt. Ferner ist immer festzustellen, daß im Kammer-

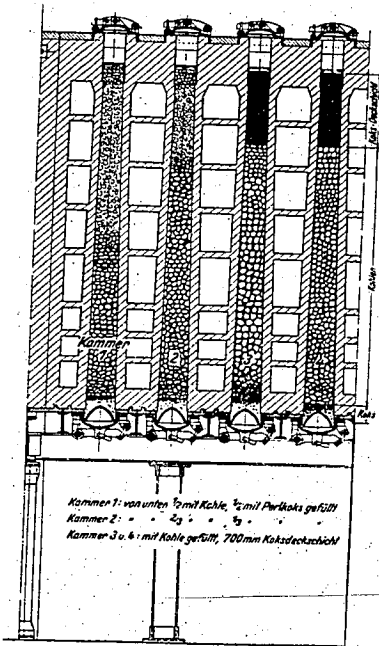


Abb. 55. Jenaer Verfahren, 1. Vorstufe.

kopf und am oberen Deckel mehr oder weniger verkockte Teerkrusten von der Vernichtung gewisser Teerbestandteile zeugen. Neben anderen

¹⁾ Gas- und Wasserfach 71 (1928) S. 231; 73 (1930) S. 133; — Didier, DRP 487975.

²⁾ Gülich J., Gas- und Wasserfach 71 (1928) S. 1112.

Versuchen, die Oberfläche der Kohleschüttung aufzulockern, kamen W. Bueb und Gülich auf das Verfahren einer Koksaufladung auf die Kohleladung. Als besonders geeignet erwies sich Perlkoks 10—20 mm. Neben Schüttungen von 1 bis 2 m fand Gülich eine Koksaufladung von 70 cm als ausreichend wirksam (Abb. 55). Der Vorgang war bei dieser Anordnung der, daß die Teerdämpfe sich in der lose liegenden Koksauflage kondensierten, ohne im bisherigen Umfange zu einer Ver-

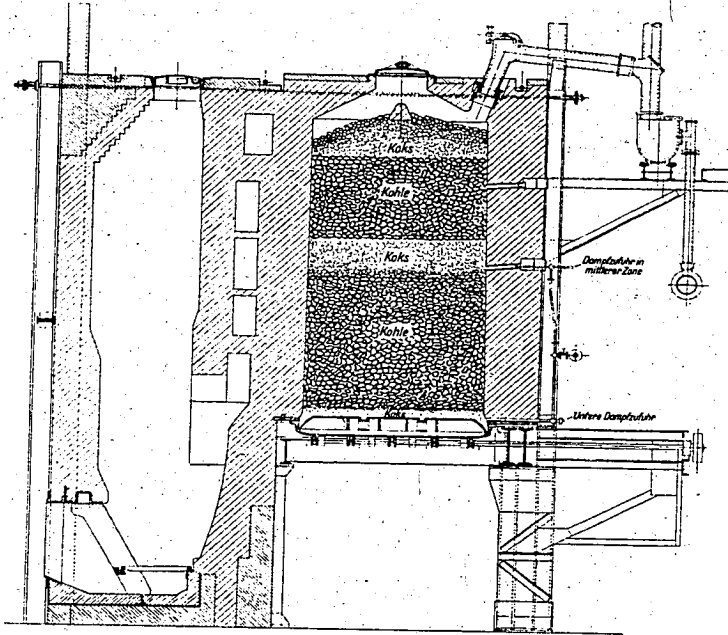


Abb. 56. Jenaer Verfahren, 2. Vorstufe.

krustung und Drucksteigerung zu führen und im weiteren Verlauf der Entgasung, nachdem diese Koksaufladung in etwa 3—6 h zum Glühen gekommen war, insbesondere während des Dampfens der Kammer wurden diese Teerbestandteile dann teils unmittelbar, teils unter Zersetzung von den ärmeren Gasanteilen bzw. dem Wassergas aufgenommen. Diese teerabfangende Wirkung ist augenfällig daran zuerkennen, daß bei Vorhandensein einer Koksaufladung beim Öffnen der Kammer die herausschlagende Flamme nicht gelb, wie normalerweise beobachtet, sondern bläulich, entleuchtet, brannte. Dieser der Devog geschützte Grundgedanke (Abb. 55)¹⁾ erfuhr dann eine weitere Ausbildung in

¹⁾ Devog, DRP 487 975, 496 747.

der Form, daß in halber Höhe der Kammer eine Kökszwischenladung eingebracht wurde (Abb. 56) und daß diese, sobald sie durchgewärmt war, baldmöglichst durch eine in dieser Höhe angebrachte Dampfzuführung während der Entgasung gedampft wurde¹⁾, also im Grunde ein dem Goffin-Verfahren ähnlicher Effekt erzielt werden sollte. Bei aller sachlichen Richtigkeit dieses Gedankens bestehen jedoch erhebliche betriebliche Schwierigkeiten, diese Einzelladungen bei der sofort einsetzenden Kohlentgasung in der richtigen Menge und Höhe einzubringen.

In sehr eingehenden, nicht nur betriebsmengenmäßigen, sondern auch gasanalytischen Untersuchungen hat sich Gülich²⁾ bemüht, den

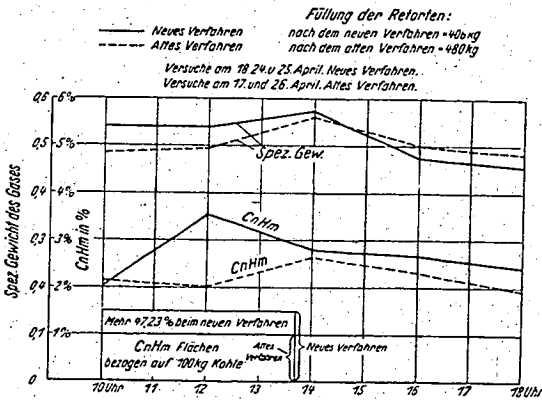


Abb. 57. CnHm-Entwicklung. Mittelwerte aus mehr-
tägigen Versuchen im Produktionsgas.

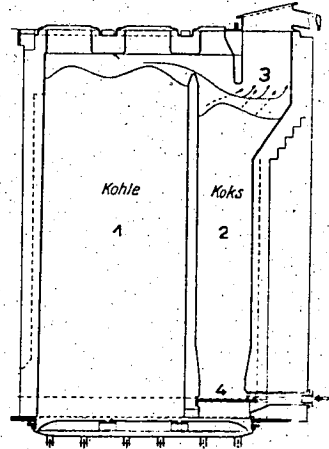


Abb. 58. Bauart Jena-Rostofen.

beobachteten Zusammenhang zu ergründen. Vor allem ergab sich ein auffallendes Ansteigen des Gehaltes an schweren Kohlenwasserstoffen im Gas während der ersten Stunden — wodurch der Wegfall des sonst verlorengehenden Teerniederschlages im Kammerkopf gekennzeichnet wird — und weiter ein wenn auch geringeres, doch anhaltendes Mehr-
ausbringen an schweren Kohlenwasserstoffen bis zu Ende der Entgasung (Abb. 57). Dieser zusätzliche Mehrertrag an Heizwertträgern muß sich naturgemäß in einer größeren Aufnahmefähigkeit für Wassergas ohne Heizwertminderung (wie es Gülich insbesondere anstrebte) auswirken. Praktisch erwies sich der Erfolg der Teeraufnahme auch in dem Wegfall der vorher unvermeidlichen Teerkokskrusten.

Gegenüber 39% Ofengasausbeute von 4670 kcal im alten Betrieb

¹⁾ Devog, DRP 487975, 496747.

²⁾ Gas- und Wasserfach 71 (1928) S. 8, 1112.

erhielt Gülich bei sonst gleichen Betriebsverhältnissen mit der Auf-
ladung von Koks eine Steigerung auf 47,5% von 4600 kcal. —

Eine weitere Übergangsform der Devog¹⁾ setzte eine Kohle-
kammer neben eine koksgefüllte Kammer mit solcher Verbindung,
daß das Kohlengas durch die gedampfte Kokskammer in voller Höhe
oder auch nur durch die obere Hälfte hindurchgehen sollte, doch be-
währte sich diese Form nicht wegen der Strömungsschwierigkeiten und
wohl dadurch verursachten Teerverstopfungen.

Die neue Bauart Rostock²⁾ ging erstmalig zur Überleitung der
Kohlengase über die glühende Koksschicht an Stelle der Durchleitung
über (Abb. 58), und brachte Kohle und Koksfüllung in dieselbe, nur
durch eine Trennwand geteilte Kammer, während Gülich in der grund-
sätzlich gleichen Kammer trotzdem die Koksdeckschicht auf dem
Kohleteil beibehielt³⁾. Das von ihm hier angewandte unterbrochene
Dampfen mit stündlichen Pausen von $\frac{1}{4}$ h muß als auf die Dauer be-
triebstörende Belastung betrachtet werden und kann zweifellos (vgl.
oben unter Naßbetrieb) bei entsprechender Abstimmung der Dampf-
menge ununterbrochen durchgeführt werden.

Die Bauart Gaswerk Lodz ging von der vorgenannten Kammer-
form (Abb. 59) weiter und verhinderte durch einen übergesetzten Vör-
ratsbehälter ein zu tiefes Absinken der Perlkokssäule und sicherte dem
überstreichenden Kohlengas eine ständig möglichst große Fläche glühenden
Perlkokes. Eine Heizwertzahlausbeute 0%/Reinkohle von 2500
ergab sich ohne erkennbare Minderung der Teerausbeute.

Interessante Versuche führte Gülich mit der Kammer der Lodzer
Bauart durch unter Mitverwendung von Braunkohlenbriketts⁴⁾. Einer-
seits wurde in der Perlkokskammer eine Mischung von Perlkoks
und Briketts 3:1 mit Erfolg durchgesetzt, anderseits auch in der Kohle-
kammer Brikettzusatz versucht. Eine Mischung von Kohle mit Briketts
eignete sich nicht, weil bei der zu ungleichen Stückgröße die Briketts
nicht genügend ausgasten. Anderseits gab eine unten in die Kammer
gebrachte Mischung von Feinkohle und Briketts (Abb. 59) infolge der
dichten Lagerung trotz der ungleichen Stückgröße eine gute Betriebs-
möglichkeit und Ausbeute, und es zeigte sich, daß ein gut ineinander-
gesinterter Kohlebrikettkoks erhalten wurde. Zur Herstellung eines
Normstadtgases war ein Braunkohlenbrikett-Zusatz bis 28% des Stein-
kohlengewichtes tragbar.

γ) Das Rostocker Verfahren.

Bei der neuesten Bauart des nunmehr als Rostocker Verfahren be-
zeichneten Ofens hat W. Bueb die Wassergaskammer wieder von der

¹⁾ Gülich J., Gas- und Wasserfach **71** (1928) S. 8, 1112.

²⁾ Permien, Gas- und Wasserfach **76** (1933) S. 47.

³⁾ Gülich J., Gas- und Wasserfach **77** (1934) S. 1.

⁴⁾ Gas- und Wasserfach **78** (1935) S. 145, 172.

Kohlekammer getrennt und gemäß Abb. 60 eine Koks-kammer zwischen zwei normale Kohlekammern gebaut. Diese haben in Abweichung von der normalen Bauart keinen eigenen Gasabgang, sondern nur einen in der Ofendecke liegenden Übergang nach der Koks-kammer. Die Koks-

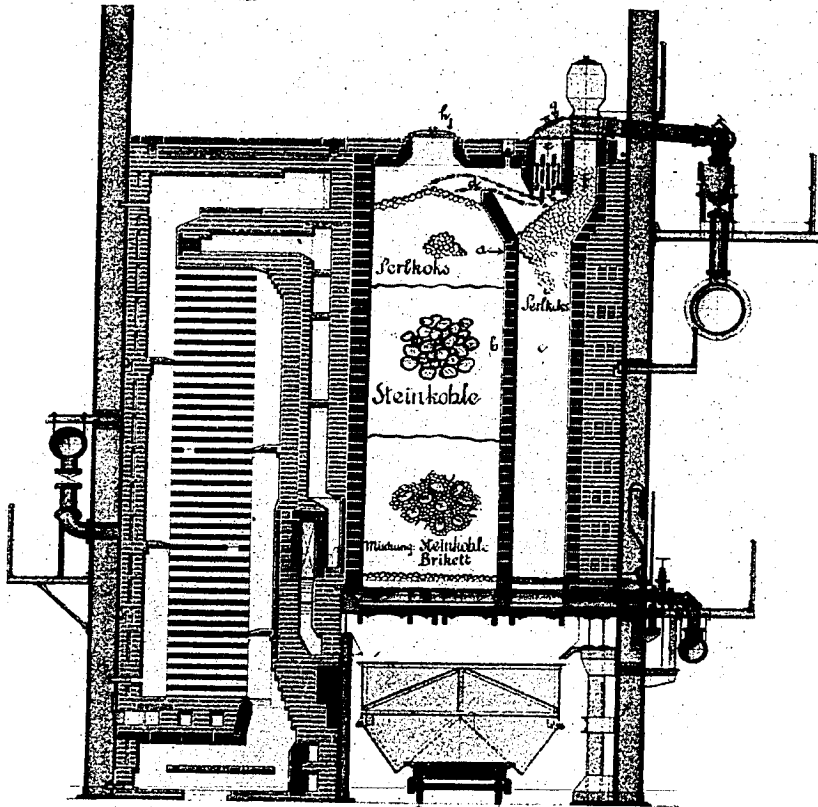


Abb. 59. Bauart Lodz (Devog), Ladung nach Gülich.

kammer gewährt durch die eingebauten Trennwände verschiedener Höhe und durch die den Gasweg zwingende Zunge sowohl eine möglichst große Koksfläche als auch eine zwangläufige Führung des Kohlengases und dessen Mischung mit dem heißen Wassergas. Die Koks-kammer hat einen besonders ausgebildeten Rollenrost zum zeitweisen Austragen des veraschten Koksrückstandes und eine geeignete Koks-füll-tasse. Vorteilhaft ist ferner die Vereinfachung der Armaturen dadurch, daß

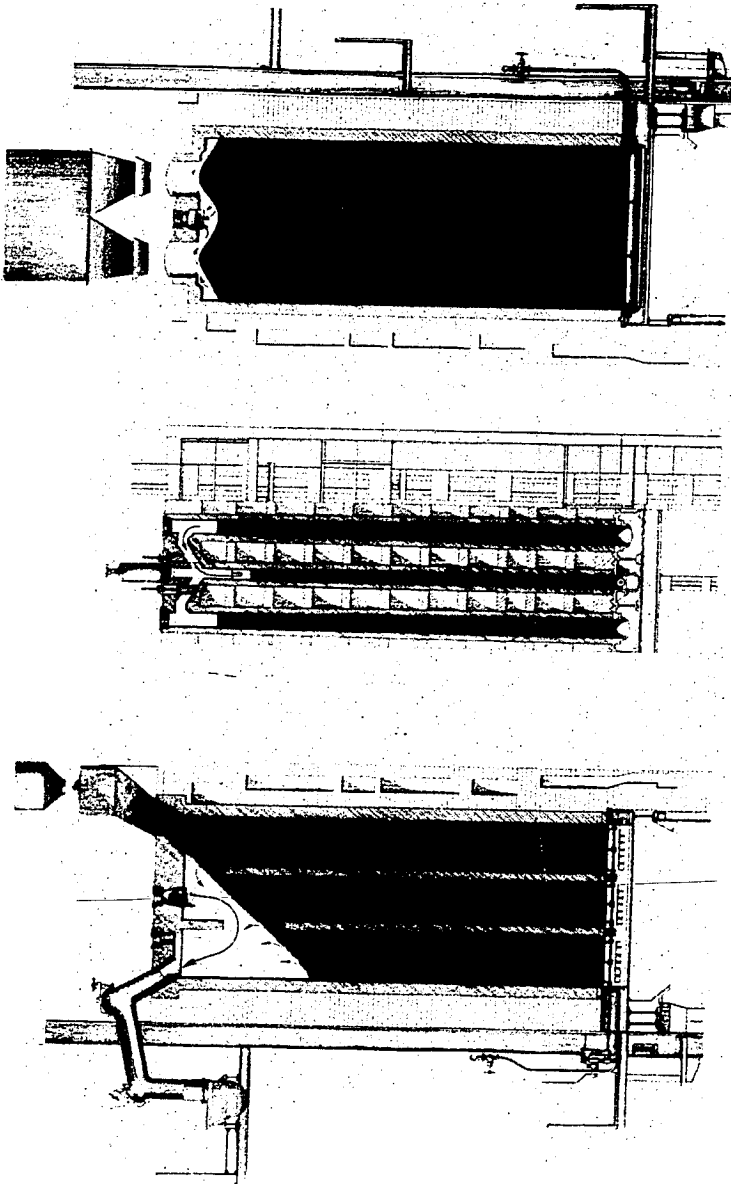


Abb. 60. Deyog-Verfahren im Gaswerk Rostock.

das Gas der 3 Kammern einer Gruppe nur durch die Koks-kammer wegeht, also statt 6 nur 2 Abgänge je Ofen vorhanden sind. Die Koks-kammer ist schmäler (um etwa 20%) als die Kohlekammern, so daß die ausreichende Wärmezufuhr für die Wassergaserzeugung keine Schwierigkeiten macht. Einstellung eines normgemäßen oder auch wesentlich höheren Heizwertes ist in einfacher Art wahlweise möglich durch gegenseitige Abstimmung von Kammerbeheizung und Dampfbzusatz in Kohle- und Koks-kammern. Letztere werden im allgemeinen 3 von 8 h Ausstezeit gedampft (Kammerladung 1,8 t).

Leistungsversuche, die in Gegenwart von Vertikalofenfachleuten vorgenommen wurden¹⁾, ergaben bei Verwendung einer Kohle von 30,9% flüchtigen Bestandteilen und 90,8% Reinkohle eine Heizwertzahl ausbeute 0^o/160/Reinkohle von 2780 (ohne Benzol auswaschung) bei einer Unterfeuerung von 15,5% Reinkoks/Reinkohle, also ein sehr günstiges Ergebnis. Dabei wurde, wie im Dauerbetrieb ermittelt, das Teerausbringen weder qualitativ noch quantitativ merklich beeinflußt. Bei verstärkter Wassergaserzeugung errechnet sich hieraus für Norm-Heizwert erzeugung mit voller Benzol auswaschung dieselbe Größenordnung, 2770 Heizwertzahl 0^o/Reinkohle, und für den Heizwert 4200 ohne Benzol auswaschung eine entsprechende Heizwertzahl 3060.

Ob für letzteren Fall die Wassergasleistung der Koks-kammer ausreicht, müßte erst versucht werden, für solche außergewöhnliche Betriebsvoraussetzungen läßt sich der Ofen auch für paarweise Anordnung von Kohle- und Koks-kammern bauen. — Hinsichtlich der Feststellung der Versuchsergebnisse ist zu betonen, daß diese durch vorbildliche Anpassung des normalen Betriebes an die Versuchsbedingungen einwandfrei ermittelt werden konnten.

Die Entwicklung dieses Mischgasverfahrens wurde etwas eingehender dargestellt, nicht nur weil damit ein vielbearbeitetes Problem zu einer gewissen abschließenden Vollendung kam, sondern auch weil sein Werden und Gelingen zweifellos durch offenesherziges, zielbewußtes Zusammenarbeiten verschiedenster Betriebe und Fachleute vorangebracht wurde.

Ebenso, wie obenerwähnt von Gülich in Jena, wurden auch von Bauseh in Rostock²⁾ Versuche mit teilweiser bzw. höchstmöglicher Mitverwendung von Braunkohlenbriketts ausgeführt, da sich ergeben hatte, daß bei den Temperaturen der Wassergaskammer der Braunkohlenteer restlos aufgespalten wurde. Die Koks-kammer wurde teils mit Perlkoks-Brikettmischung, teils mit reiner Brikettfüllung betrieben und es ergaben sich bei Brikettbetrieb in mehrtägigem Betriebe Ausbeuten an Heizwertzahl 0^o/Reinkohle von 2960 bis 3060 ohne Benzol auswaschung bei dem in Rostock üblichen Heizwert von etwa 4400 kcal.

¹⁾ Vater G., Richardt F., Thau E., Gas- und Wasserfach 80 (1937) S. 146.

²⁾ Vater G., Richardt F., Thau E., Gas- und Wasserfach 80 (1937) S. 146, 149.

Diese Anpassungsfähigkeit an den Rohstoffmarkt verdient besondere Erwähnung.

2. Vertikalöfen mit wandernder Ladung.

a) Der ununterbrochene Betrieb der Entgasung.

Bot schon der vertikale Betrieb an sich durch seine günstigen Voraussetzungen in förder- und heiztechnischer Beziehung und hinsichtlich des Platzbedarfs, wie erwähnt, einen besonderen Anreiz, so war es erklärlich, daß der weiterhin sehr naheliegende Gedanke, solchem Betrieb eine ununterbrochene Form zu geben, schon Jahrzehnte vor seiner technischen Verwirklichung hier und da versucht wurde. Die besonderen Vorteile dieser Betriebsart, die teils zu diesen Versuchen Anlaß gaben, teils sich erst im Laufe der weiteren Entwicklung des Verfahrens herausstellten, sind folgende:

1. Die Füllung und Entleerung der Kammerladung ohne Unterbrechung des Entgasungsvorganges und ohne Öffnen der Verschlüsse sichert ein praktisch rauch- und staubfreies Arbeiten und erleichtert dadurch nicht nur die Arbeitsbedingungen für die Ofenbedienung, sondern vermeidet auch bei gedrängter Lage eines Werkes in bewohnten Ortsteilen die Belästigung der Umgebung.
 2. Mit dem Wegfall des Öffnens der Kammer entfällt der Verlust an Entgasungszeit und an Füllgasen während der üblichen Bedienung.
 3. Die Ausnützung der Kokswärme (— ursprünglich allerdings mehr in Form einer Wärmevernichtung angewandt —) bringt nicht nur einen besseren Grad der gesamten Wärmebilanz, sondern auch eine höhere Gasausbeute und einen nicht beliebig, sondern einstellbar trockenen bzw. wasserhaltigen Koks.
 4. Die Gaserzeugung ist entsprechend dem gleichmäßigen Fortschreiten der Entgasung grundsätzlich gleichmäßig, trotzdem aber durch Beeinflussung der Durchgangsgeschwindigkeit und der sonstigen Betriebsvorgänge in weiten Grenzen anpassungsfähig.
 5. Die besondere Art des wandernden Entgasungsvorganges gewährleistet eine schonende Kohlezerlegung ohne zu weitgehende Wärmespaltung der Gase und Dämpfe.
 6. Infolge des durch die starke Wassergaserzeugung innerhalb der Kammer ständig bewirkten großen Wärmetransports vollzieht sich die Entgasung verhältnismäßig schneller als bei ruhender Ladung.
 7. Durch die Steigerung des Durchsatzes je Grundfläche und die neuzeitliche, gut durchgebildete Mechanisierung und Gesamtanordnung ist der Aufwand für Bedienung außerordentlich vereinfacht und verbilligt.
- Die Vorgänge im senkrechten Entgasungsraum haben einerseits bei ruhender und wandernder Ladung einiges Übereinstimmende, anderseits grundsätzliche Unterschiede. — Als übereinstimmend kann bei

gleicher Kohle, gleichem Kammermaterial und gleicher Beheizungs-
menge und -höhe angenommen werden: der Wärmeübergang durch die
Kammerwandung und auf den Kammerinhalt, sowie waagrecht weiter
in die Kammerfüllung. — Beim unterbrochenen Betrieb ist dann die
Entgasungsgeschwindigkeit allein von der Kammerbreite abhängig und
nur während des Naßbetriebes, also nach praktisch beendeter Entgasung
kommt eine starke Restspüilentgasung, verbunden mit Wärmederfor-
derung hinzu. — Beim stetigen Betrieb erscheint als weiterer entscheidender
Einfluß die Sinkgeschwindigkeit der Kohleladung. Bei verstärkter
Sinkgeschwindigkeit, also erhöhtem Durchsatz, kann entweder bei
gleichbleibender Beheizung und zurückgesetzter Wassergaserzeugung
eine ähnliche Menge höherwertiges Gas oder bei verstärkter Be-
heizung eine größere Menge gleichbleibendes Gas erzeugt werden;
also wird die Heizwertzahlausbeute in beiden Fällen erhöht. Dies ist
beim unterbrochenen Betrieb mit Naßbetrieb zwar auch in gewissen
Grenzen durch Anpassung von Ausstehzeit, Beheizung und Dämpfen
möglich, aber nicht in dem breiten Umfange, wie bei gut überwachter
wandernder Ladung (vgl. später). Immerhin würde, gleiche Wand-
temperatur auf größerer Kammerhöhe vorausgesetzt, der Wärmedurch-
gang in und durch die Ladung auch beim Wandern praktisch gleich sein,
wenn nicht der ständige innere Wärmetransport durch die ununter-
brochene Wassergaserzeugung die Entgasungsvorgänge wesentlich för-
derte, so daß die Entgasungsgeschwindigkeit bei der wandernden Ladung
etwa 50% höher ist als bei ruhender Ladung.

Während bei ruhender Ladung und gleichmäßiger bzw. der Kon-
sistenz entsprechend abgestufter Wandtemperatur die Entgasung und da-
mit die Teernacht in einer der Kammerwand oder Mittelebene parallelen
Ebene fortschreitet, so daß eine durch die ganze Kammermitte durch-
gehende Kohlewand abnehmender Stärke geht, ist diese Gestaltung
der Teernacht bei wandernder Ladung eine ganz andere. Die Lage der
Teernächte bei wandernder Ladung bleibt, solange Wandtemperatur und
Durchsatz gleichbleiben, räumlich ständig unverändert; am Einlauf der
Kohle liegen sie der Wand unmittelbar nahe, nähern sich abwärts beider-
seits immer mehr der Mitte und bilden so einen auf der Spitze stehen-
den, oben offenen Keil. Je höher die Gesamttemperatur der Kammer-
wand ist, desto höher rückt die Spitze dieses Keils, also der End-
punkt der Entgasung. Je größer die Durchgangsgeschwindigkeit der
Ladung ist, desto tiefer sinkt die Teernachtspitze nach dem Auslauf zu,
wenn nicht gleichzeitig die Temperaturen gesteigert werden.

b) Die Retortenöfen mit wandernder Ladung.

Nach mehreren erfolglosen Vorgängern begannen Woodall und
Duckham gegen 1903 mit der Entwicklung des ersten stetig arbeitenden
Retortenofens, der aus 4 Retorten von 6 m Höhe bestand und den Koks

in eine mit Wasser gefüllte Grube auslaufen ließ, aus der er, allerdings völlig durchtränkt, durch ein Förderband herausgeholt wurde¹⁾ (Abb. 61). Dieser Ofen war 1905/06 8 Monate im Probetrieb, doch sind Betriebszahlen davon nicht bekannt geworden. Der nächste Ofen von 1908 brachte wesentliche Fortschritte besonders in der Koksaustragung (Abb. 62). Obwohl diese beiden Bauformen durch die neueren Ausführungen überholt sind, verdienen sie doch besondere Erwähnung, weil verschiedene grundlegende und jetzt noch gültige Teilformen des stetigen Betriebes darin bereits Anwendung fanden und von dem ausgezeichneten allgemein- und fachtechnischen Verständnis der Erfinder Zeugnis geben. Die Skizze von 1903 zeigt bereits den Trommel- oder Walzenschieber für die Kohlezufuhr, die in den unbeheizten Retortenkopf eintauchende, vom Gassammelraum umgebene Füllhaube und unten die schrägseitwärts abführende Koksflasche mit Dampfzuführung. Auf die Bedeutung dieser Einrichtungen wird bei den stetigen Kammeröfen zurückgekommen. Die Beheizung des Woodall-Duckham-Ofens war anfangs von der Mitte beginnend nach unten und dann zum Kohlevorwärmen aufwärts geführt, aber

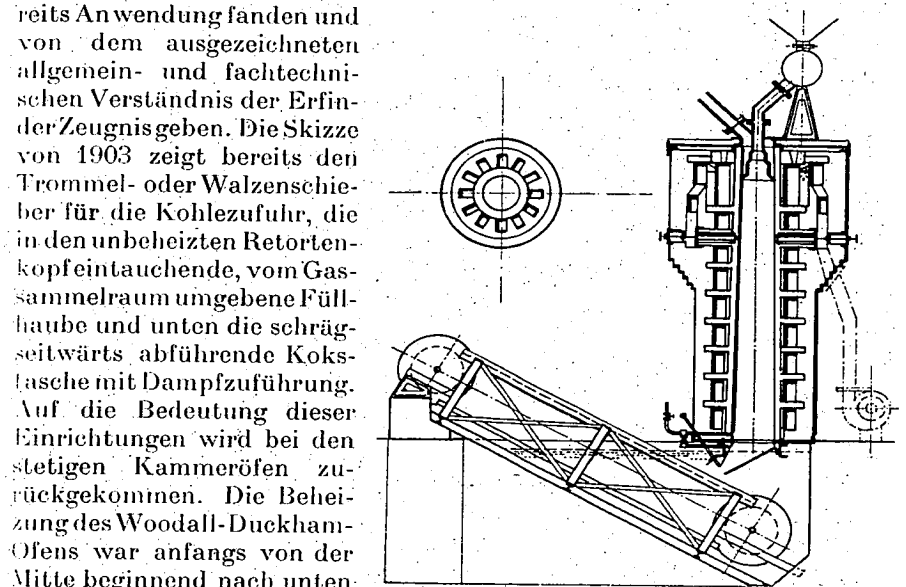


Abb. 61. F. Woodall-Duckham-Retorte.

bereits der Ofen von 1908 zeigt auf die künftigen Beheizungsformen hin. Er bildet einen Übergang von der Zickzack-Etagenheizung des diskontinuierlichen Retortenofens zur späteren Abwärtsbeheizung des kontinuierlichen Ofens. Das Heizgas aus dem angebauten Generator führt hoch zu den Brennern, die unter den unbeheizten Kammerköpfen sofort eine hohe Temperatur geben (vgl. später) und durch waagerechte Abdeckungen im Zickzack abwärtsgeführt, verlassen die Abgase den Ofenraum am Retortenfuß. Der Ofen von 1908 zeigt ferner schon die Dornwalze im Koksaustragkasten. Die Retorten von rundem bzw. ovalem Querschnitt waren mit Nut und Feder gemauert und bei dem Ofen

¹⁾ Körtling E., Gas- und Wasserfach 49 (1906) S. 325.

von 1908 bereits 7,6 m hoch. Neben dieser damals in England schnell beliebt gewordenen Bauart fand auch der stetige Glover-West-Ofen Verbreitung. Er enthielt 8 ovale Retorten mit etwa 2,6 t Tagesdurchsatz je Retorte und unterschied sich vom Woodall-Duckham-Ofen durch die Koksaustragevorrichtung, eine senkrecht stehende große Schnecke, die zweifellos größere Gefahr der Koksquetschung bringt, und durch die Form der Beheizung. Die Mitte der Retorten wurde mit 9 Brennern

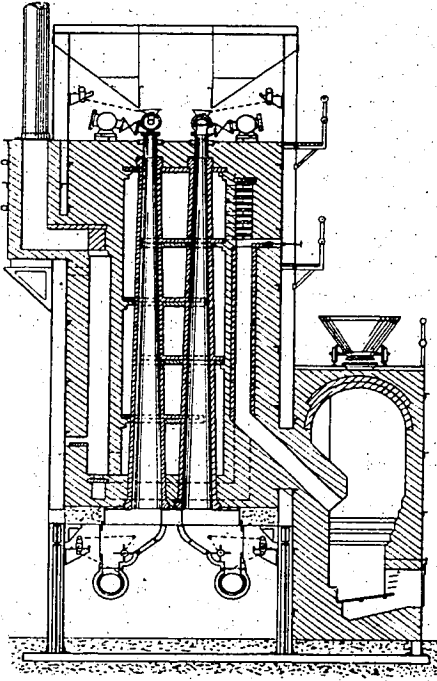


Abb. 62. Woodall-Duckham-Ofen 1908.

beheizt, deren Abgase nicht abwärts geführt wurden, um mit möglichst geringem Zug auszukommen, sondern nur aufwärts zum Kohlevorwärmen. Der Retortenunterteil bestand aus Gußeisen mit Kühlrippen zur Vorwärmung der Oberluft mit dem Wärmeinhalt des Kokes. Die Regulierung der zahlreichen Brenner, sowie der Ausgleichschieber der 9 Brennerkanäle erforderte besondere Sorgfalt. Der Glover-West-Ofen behielt die Retortenbauart auch weiterhin bei.

e) Die Kammeröfen mit wandernder Ladung.

Die Ausbildung des stetigen Kammerofens erfolgte in Deutschland nach 1910 durch die Adolffshütte (später fortgesetzt durch Didierwerke in Arbeitsgemeinschaft mit der englischen Woodall-Duckham-Gesellschaft), zunächst in Dresden. Die dort von Wahl, Metzdorf und Schroth geleistete Pionierarbeit führte zu der bewährten fortgesetzten weiterentwickelten Bauart des »Dresdener Ofens«, der dann auch in einigen anderen Werken, besonders aber durch die Woodall-Duckham-Company in England sehr zahlreich und auch in fast allen Kulturländern in verschiedenem Umfange eingeführt wurde.

Eine in verschiedener Hinsicht andersartige (vgl. später), wenn auch in wesentlichen Grundgedanken übereinstimmende Bauart brachte seit 1920 Koppers in Deutschland und vor allem im Ausland zu zunehmender Verbreitung.

Seit 1923 sind auch stetige Kammeröfen von Dr. Otto ausgeführt, die sich insbesondere durch eine andersartige Ausführung der Beheizung u. a. m. kennzeichnen.

In der nachfolgenden Besprechung der Einzelteile und Arbeitsformen der stetigen Entgasung sind die Besonderheiten dieser 3 Ausführungsformen gegenübergestellt. Die Kammerformen, Beheizung, Füll- und Entleerungseinrichtungen stehen zwar bei jeder Bauart für sich in einem gewissen gegenseitig gebundenen Verhältnis, doch sollen sie zur besseren Einzelübersicht hier je für sich verglichen werden.

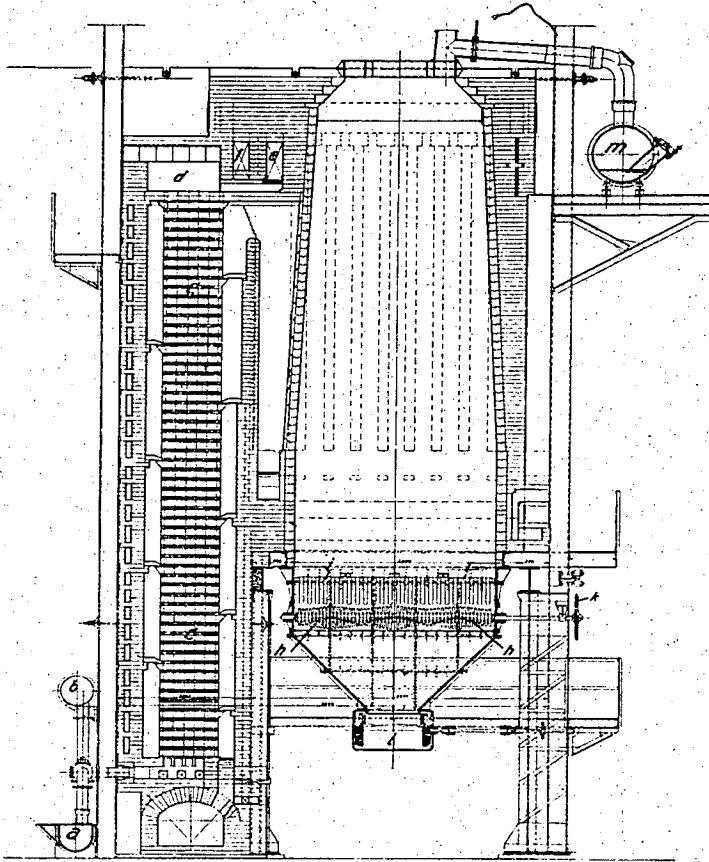


Abb. 63. Stetiger Ofen, Bauart Dresden (Didier).

α) Bauarten:

Die Kammerbauarten und Durchsatzgrößen. Der Kammerquerschnitt ist allgemein üblich langrechteckig mit abgerundeten oder abgeschrägten Ecken.

Die Kammer des Dresdener Ofens (Abb. 63) hatte bei 8,5 m Höhe

und etwa 360/2000 mm mittlerem Querschnitt Durchsatzleistungen von 5 bis 7 t täglich, die neuerdings auf 8,5 und 10 t/Tag erhöht würden. Der Koppers-Ofen arbeitete grundsätzlich mit höherem Durchsatz, bei normaler Belastung 10 t/Tag, und mit sowohl höherer als auch breiterer Kammer (9 m hoch, 400/2700 mm mittl. Querschnitt), während der Otto-Ofen bei geringerer Höhe von 7 bis 8 m eine ebenso breite, aber z.T. tiefere Kammer von 400/2200 bis 4000 mm mit ebenfalls hohem Durchsatz (bis 10 t) anwandte.

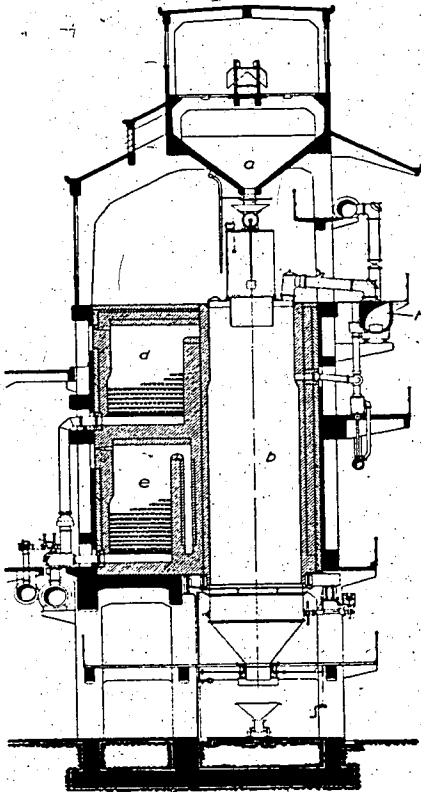


Abb. 64. Stetige Vertikalkammerofenanlage, Bauart Koppers.

Die 10-t-Kammer erreicht, auf Ofengrundfläche berechnet, die hohe Leistung von 1,6 bis 1,7 t/m²/Tag (vgl. S. 72).

Der von Koppers gewählte hohe Durchsatz und breite Querschnitt bezweckte vor allem, das gefährliche Kleben oder Hängen der Kohle-Kokssäule an der Wandung zu überwinden, durch ein im Verhältnis zur Wandreibung möglichst großes Kohlegewicht. Der Förderung des stetigen Abgleitens der Füllung dient auch eine wie beim diskontinuierlichen Ofen angewandte Konizität. Diese hat allerdings beim stetigen Ofen einen etwas andern Charakter: Eine zu stark von oben bis unten durchgeführte Konizität könnte zur Folge haben, daß, nachdem das Spitzende der keilförmigen Teer-naht erreicht ist, eine weiterhin noch stark zunehmende Verbreiterung der Kammer entweder zu breiten Spalträumen rings um die Koks-säule oder bei weichem Koks zu einem Zusammensinken der Koks-säule unter Kokszertrümmerung führt. Deshalb verwendet der Koppers-Ofen (Abb. 64) in der Kammertiefe nur einen erweiternden Absatz in Höhe des 2. Gasabganges, dagegen in der Breite der Kammer eine schwache Konizität von 6 bis 11 mm je m Kammerhöhe, die stärkere Verjüngung gilt für Kammern mit höherem Durchsatz. — Die Didier-Kammer (Abb. 63) hat in der oberen Hälfte Konizität in Tiefe und Breite, geht aber im unteren Drittel, wo der Koks fertig durch-

gebildet ist, zur ringsum fast senkrechten Wand über. — Der Otto-Ofen hat in der Länge und Tiefe durchgehend schwache Konizität, nach unten abnehmend.

Die Anordnung mehrerer Kammern wird entweder als einreihiger Block ausgeführt, mit längsseitig nebeneinander stehenden Kammern, Wärmerückgewinnung für jede Kammer an einer Schmalseite angeschlossen oder bei größeren Blocks auch zweireihig, mit schmalseitig aneinanderstoßenden Kammern, wobei die Wärmerückgewin-

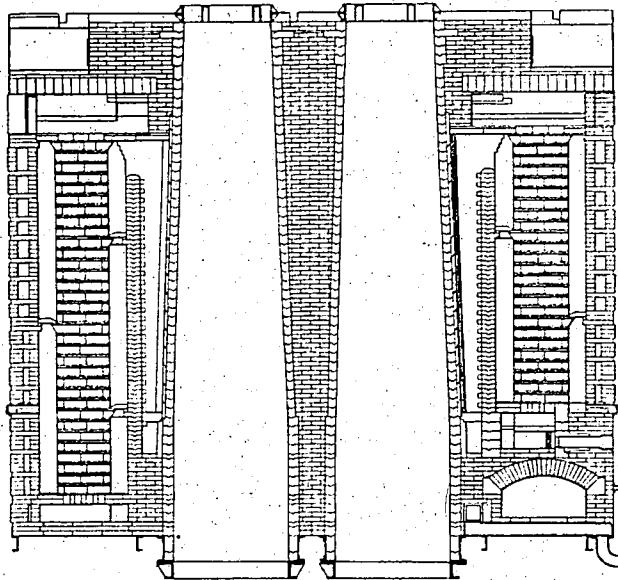


Abb. 65: Zweireihiger stoffiger Ofen.

nung beiderseits des Kammerblocks an den äußeren Schmalseiten der Kammern angeordnet ist (Abb. 65). Diese Anordnung hat den Vorteil, daß die Kammern als höchsterhitzte Teile des Ofens mit keiner Wandfläche unmittelbar nach außen abstrahlen können; also die Strahlungsverluste bei durchweg verhältnismäßig niedriger Wandtemperatur geringer sein müssen.

Von besonderem Interesse für den Gesamtaufbau des Kammerblocks ist die von Koppers¹⁾ ausgeführte Eisenbetonbauweise, bei der die übliche Eisenträgerverankerung und Tragkonstruktion durch Eisenbetonbalken ersetzt ist. Diese bildet zugleich das Gerippe für das

¹⁾ Koppers DRP 406735; Ztschr. öst. V.G.W. 1924, Nr. 8.

Ofenhaus und die Bauart ermöglicht in besonderem Maße eine gute architektonische Ausführung der ganzen Ofenanlage bei äußerster Platzbeschränkung; sie bedeutet allerdings auch u. U. bei Um- oder Erweiterungsbauten eine Beengung oder einen Zwang. Die dafür hervor-

gehobene Möglichkeit, zwischen Ofenmauerwerk und Betonhülle Isolierschichten anzuordnen, ist an sich bei jeder Bauart möglich und wie früher ausgeführt, dringend erwünscht. Bei Anordnung mehrerer Öfen nach dieser Bauart erhält jeder Ofen seine Eisenbetonhülle, in der er der erforderlichen Dehnung folgen kann:

Wenn auch, wie später noch ausgeführt wird, der stetige Kammerofen eine weitgehende Anpassungsfähigkeit an Durchsatzschwankungen hat, so ist doch im Hinblick auf die Größe der Kammereinheiten je nach örtlichen Voraussetzungen in der Gesamtanordnung besonders auf Teilungs- oder Abschaltungsmöglichkeiten Rücksicht zu nehmen bzw. auf verschieden scharfen Betrieb getrennter Öfen. Bei der Höhe der stetigen Kammern sind hierzu die schon bei den unterbrochen betriebenen Kammern erwähnten Dehnfugenanordnungen von besonderer Bedeutung für die Haltbarkeit und Zuverlässigkeit der Kammern.

Die Beheizung. Um ein stetiges Wandern der Kohle in der Kammer zu erreichen und ihr Festhängen an der Kammerwand in der Zeit der teigigen Beschaffenheit durch schnellstmögliche Bildung einer festen Koks-

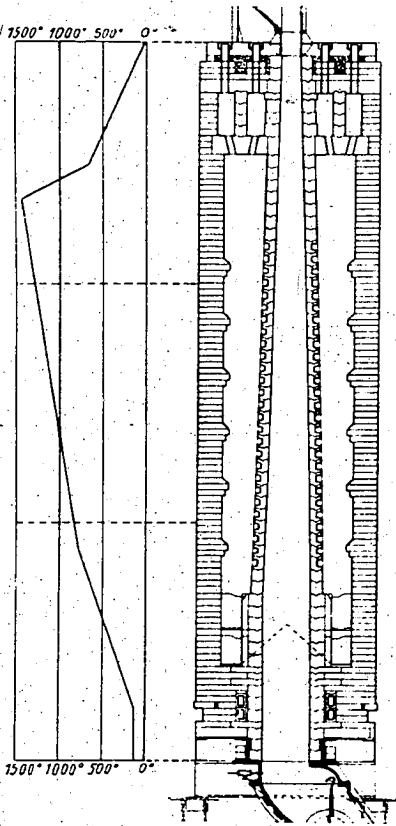


Abb. 66. Dresdener Ofen.
Temperaturverlauf.

haut zu verhüten, muß die Kohle ohne langen Übergang durch Anwärme- und Schweltemperaturen hindurch rasch auf hohe Temperatur gebracht werden. Deshalb muß der Kammerkopf besonders kräftig beheizt werden. Die weitere Verteilung der Temperatur bis zum Kammerfuß ist verschieden, durch die Bauart und den Durchsatz sowie andere Betriebseinflüsse bedingt, und kann nach unten abklingend oder gleichmäßig erforderlich sein. — Die beifolgende Temperaturlinie des Dresdener Ofens (Didier) zeigt (Abb. 66) den scharfen Anstieg der Be-

heizung unter dem — wie schon bei der Woodall-Duckham-Retorte bemerkt — unbeheizten Kammerkopf. Diese Temperaturlage wird erreicht durch beiderseits der Kammerlängsseite angeordnete, von oben regelbare Brenner, die mit langer Flamme in senkrechten Heizzügen nach unten brennen. Der Kammerfuß ist zur Koksabkühlung mit Luftvorwärmekanälen umgeben. Die englische Bauart der Woodall-Duckham-Company hat die gleiche Beheizung beibehalten, ist aber bei einem Teil ihrer Ausführungen auch auf die Beheizung von unten nach oben übergegangen. Hierbei ist, um die notwendige hohe Temperatur oben zu erreichen, durch eine Zweitluftzuführung in halber Höhe der Kammer eine verzögerte Verbrennung zur entsprechenden Streckung der Flamme beigegeben. Beide Bauarten sind zahlreich vertreten, so daß keine dieser zwei Beheizungsformen als bevorzugt bezeichnet werden kann.

Die Wärmerückgewinnung des Didier- bzw. W.-D.-Ofens erfolgt rekuperativ in den der einen Kammerchalseite angebauten Röhrenrekuperatoren (vgl. S. 38). Bei Fremdgasbeheizung verlaufen die Gas- und Luftkanäle in ganzer Kammerhöhe von unten nach oben, jeweils zwischen im Zickzack abwärts geführtem Abgas; bei Einzelgeneratorbeheizung ist der Gaserzeuger dem unteren Kammerteil angebaut und die Röhrenrekuperation für die Luftvorwärmung nimmt den darüberliegenden Teil bis zu den Brennerzuführungen ein.

Die Beheizung der stetigen Koppers-Kammer geht von dem Grundsatz aus, daß einerseits oben die höchste örtliche Temperatur notwendig ist und der stärkste Wärmeübergang auf die kalte, noch von wenig Koksisolierschicht umgebene Kohlefüllung stattfinden soll, andererseits unten zwar nicht diese hohe Temperatur erforderlich wäre, dafür aber mit der zunehmend dicken Koks-schicht der Wärmedurchgang geringer wird, also aus diesem Grunde eine noch ausreichende Wärmezufuhr, d. h. eine nicht zu sehr absinkende Wandtemperatur erwünscht ist. Diese Folgerung führt zu der Forderung einer von oben bis unten möglichst gleichmäßigen Beheizung und diese wird durch wechselnde Aufwärts- und Abwärtsführung der Flammen (Abb. 67) von den unten und oben an den Längsseiten der Kammern angeordneten Brennern in senkrechten Heizzügen erreicht. Als Heizgas wird grundsätzlich, auch bei kleinen Anlagen, Zentralgeneratorgas verwendet und die Vorwärmung von Luft und Gas erfolgt nur regenerativ in den Gitterstein-Wärmeaustauschern, die zu je 2 in der oberen und unteren Hälfte der Kammerhöhe außen angebaut sind (Abb. 64).

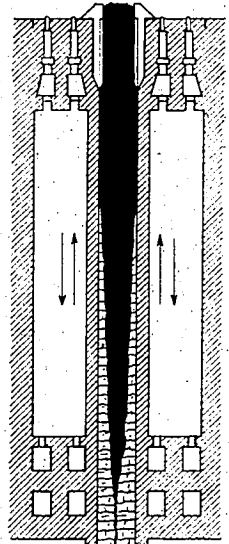


Abb. 67.
Stetiger Kammerofen
(Koppers). Beheizung.

Hinsichtlich Rekuperation—Regeneration kann auf die diesbezüglichen Ausführungen bei den unterbrochen betriebenen Vertikalöfen verwiesen werden. Zweifellos bedeutet bei Beheizung durch einen nahe dem Ofen erstellten Zentralgenerator die Überwachung und Bedienung der Wechselei für die Regeneration keine Betriebserschwerung, und die im Regenerator erreichbare höhere absolute Vorwärmung wirkt sich in besonders günstigen Unterfeuerungszahlen aus.

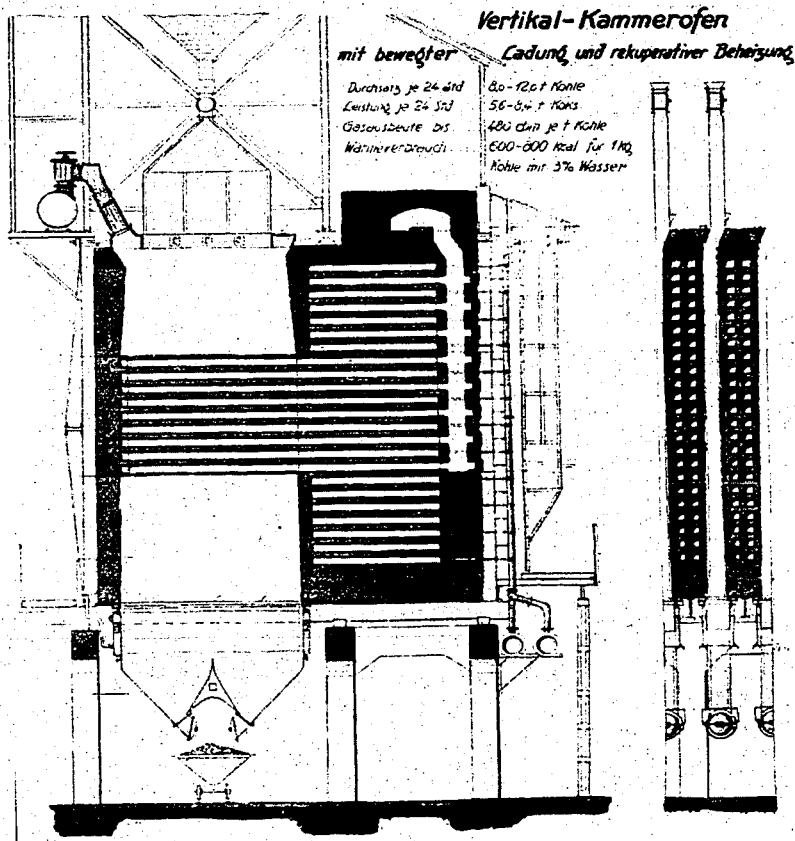


Abb. 68. Stetiger Ofen Dr. Otto.

Auch der Koppers-Ofen hat einen unbeheizten Kammerkopf und durch Kühlkanäle gekühlten Kammerfuß.

Der stetige Otto-Ofen benützt eine ganz andere Beheizung, die bei dem unterbrochen arbeitenden Ofen für große Ladungen (S. 35) bereits

beschrieben und als um 90° gekantete Horizontalofenbeheizung gekennzeichnet wurde (Abb. 68). Auch beim stetigen Ofen wird Gas und Luft durch außenliegende Hauptleitungen mit Abzweigen in jeder Heizzughöhe zugeführt und jeder Zug für sich rekuperativ vorgewärmt. Diese Beheizung hat den Vorteil, daß unter allen Umständen an jeden Kammer teil die daselbst erwünschte Temperatur gebracht werden kann, erfordert aber u. U. mehr Einzelregulierung. Die Führung dieser rekuperativen Beheizung ist aus Abb. 69 ersichtlich. Bei dem abgebildeten Heizzug berührt die Flamme erst die rechte, dann die linke Kammerwand. In den darüber und darunter liegenden Heizzügen ist der Flammenweg von links nach rechts gerichtet und so eine gleichmäßige Beheizung der Kammern erreicht. — Der Kammerfuß ist schwächer beheizt und an die Mauerung schließt sich unmittelbar ein Wasserkühlmantel an, zur schärferen Kokskühlung unter gleichzeitiger Erzeugung des zum Einblasen in den Koks benötigten Dampfes.

Kammerfüllung und Gasabgang. Die Zuführung der Kohle muß zur Vermeidung von Gasverlusten bzw. von Luftansaugung gasdicht erfolgen. Man verwendet hierzu allgemein den schon von Woodall-Duckham anfangs gebrauchten Trommel- oder Walzenschieber (Zellen-

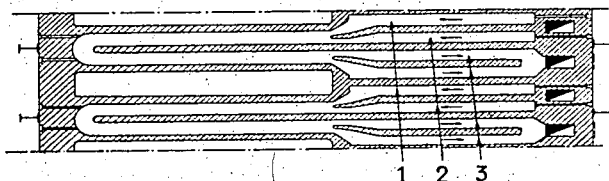


Abb. 69. Schnitt durch Rekuperation und Kammer.
1 Generatorgas. 2 Luft. 3 Abgase.

radventil), einen großen Hohlkükenhahn mit einer etwa $\frac{1}{4}$ des Umfanges breiten Öffnung des Hohlküken oder ähnliche Ausführungen. Durch diese Öffnung füllt sich der Hohlkörper oder das Zellenrad bei Öffnung nach oben und entleert sich bei Drehung nach unten. Als unmittelbarer Kammervorrat dient ein auf der Kammer stehender Kohlebunker, dessen Kohlestand mittels eines Schwimmers mit nach außen geführter Kette ständig überwacht werden kann. Der Kohlebehälter geht in ein in die Kammer eingesetztes Mundstück über, das bei der stetigen Didier-Kammer nur kurz hineinragt, aber nur etwa die Hälfte des Kammerkopfes ausfüllt, so daß durch die Böschung der herausrutschenden Kohle ein ausreichender Gassammelraum gebildet wird. Der Gasabzug wird in dem unbeheizten Kammerkopf nicht durch Teerabscheidungen behindert, weshalb nur 1 (oberer) Gasabgang vorgesehen ist (Abb. 70).

Das Füllmundstück des Koppers-Ofens aus Spezialguß¹⁾ reicht tiefer in den an dieser Stelle erweiterten Kammerkopf (Abb. 64 u. 71), wodurch ein besonders großer Gassammelraum erreicht wird und un-

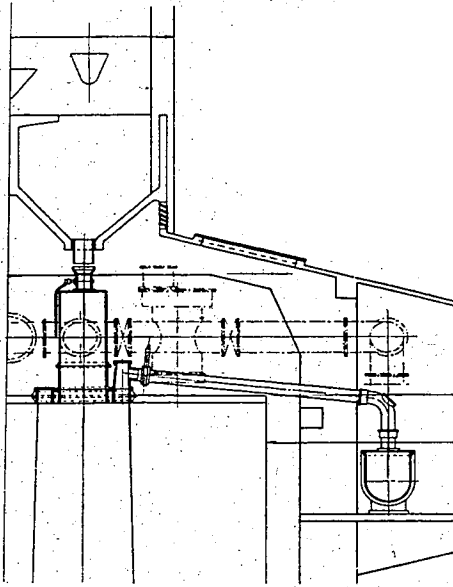


Abb. 70. Kammerkopf (Didier).

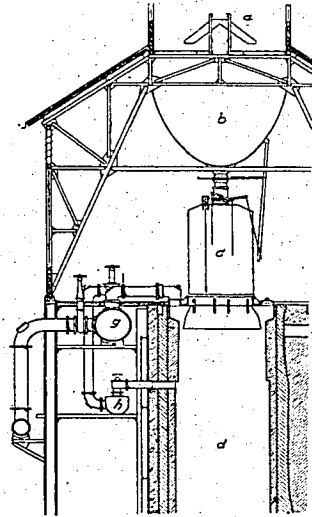


Abb. 71. Kammerkopf (Koppers).

mittelbare Erwärmung der Kohle in diesem Bereich wegfällt; trotzdem ist im allgemeinen noch ein 2. Gasabgang mit eigener Vorlage und Gasableitung zum oberen Gasabgang eingebaut, um bei sehr dicht lagernder Kohle einem Druckanstieg in der Kammer vorzubeugen. Solange die Kohle dies aber nicht verlangt, wird die untere Vorlage nicht benutzt, sondern die Spülwirkung des Wassergases auf die Kohle ausgenützt²⁾.

Der Otto-Ofen läßt das Kohle-Einlaufstück ebenfalls zum Schutz gegen zu rasche Erwärmung tief in den bis fast oben hin heizbaren Kammerkopf einhängen und ordnet es in der Kammertiefe einseitig verschoben an, um den Kammerinhalt zum Stochen oder Abfühlen leichter zugänglich zu haben.

Koksaustragung und Dampf- bzw. Wasserzuführung, Durchsatzregelung. Nach Durchwandern der Kammer gelangt der Koks in einen im allgemeinen schräg seitwärts verschobenen Koksaustrag-

¹⁾ Koppers DRP 441568.

²⁾ Schweiz. Ver. G.W.F., Mon.-Bull. 1928, Heft 7—10.

tragekasten, dessen Anordnung bezweckt, daß die Austragevorrichtung vom Druck der Koksäule entlastet wird. Als Austragevorrichtung dienen Sternwalzen verschiedener Ausführung (Didier, Koppers) mit darüber angeordneten Staupendeln (Abb. 72). Die Sternwalzen sind mechanisch angetrieben und in der Antriebvorrichtung verstellbar, so daß der Aus-

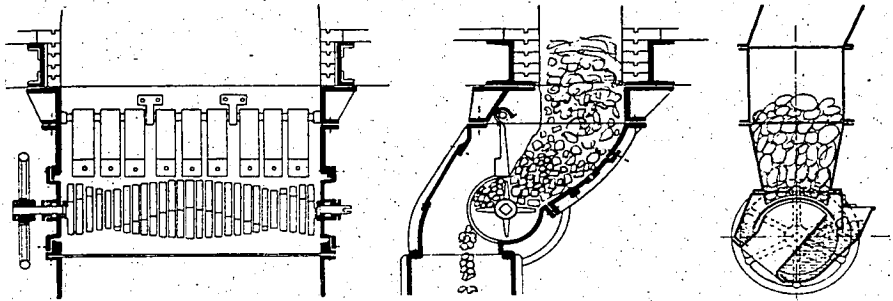


Abb. 72. Koksaustrageinrichtung des stetig betriebenen Vertikal-Kammerofens, Bauart Dresden.

trag und damit die Durchsatzgeschwindigkeit stets gleichmäßig ist, aber wechselnden Anforderungen durch Verstellen einzelner Kammern oder der ganzen Anlage angepaßt werden kann. Ebenfalls zur Beeinflussung der Leistung, aber hinsichtlich der Gasbeschaffenheit und Gasmenge dient die am Koksaustragekasten angebrachte Dampf- bzw. Wasserzuführung. Dampf, möglichst schon überhitzt, wird oberhalb der Austragwalze in den Koks der Kammer eingeblasen. Zur Löschung des noch heiß ankommenden Kokes wird Wasser mittels Spritzdüsen oder Eintropfvorrichtungen an der Austragwalze bzw. im Kokssammelkasten eingebracht, wobei der entstehende Dampf mit zur Kammerwassergaserzeugung abzieht.

Der Otto-Ofen verzichtet auf besondere Koksaustragevorrichtung und verwendet größere Kokssammelkästen mit Schrägrutschen und zwei Entleerungsdeckeln je Kammer, durch deren abwechselnde Bedienung der Durchsatz von Hand geregelt wird.

Beide Regelvorgänge, die Austragstärke und die Menge der Wassergaserzeugung, sind zwar in geringem Umfange ohne Beheizungsänderung umstellbar; bei großen oder anhaltenden Änderungen darf aber eine Überwachung und Nachregulierung der Temperaturen nicht außer acht gelassen werden.

Der Wärmefluß im stetigen Vertikalofen. Über die Wärmeverteilung in einem stetigen Vertikalofen bringt Schläpfer¹⁾ sehr eingehende Untersuchungen. Das nach diesen Zahlen zusammengestellte Wärmestrombild (Abb. 73) zeigt die Besonderheiten des stetigen Be-

¹⁾ Eidgen. Mat.-Pr.-Anst. T. Hochsch. Zürich 1935, Mon.-Ber. 96.

etriebes am besten im Vergleich mit dem Wärmestrombild des unterbrochen arbeitenden Vertikalofens (Abb. 41 S. 50). Gleichzeitig zeigen diese 2 Wärmestrombilder grundsätzliche Unterschiede zwischen Einzel- und Zentralgenerator und zwischen Rekuperation und Regeneration.

Von der Auswertung der Strahlungsverlustunterschiede soll im Hinblick auf das S. 47 Gesagte abgesehen werden.

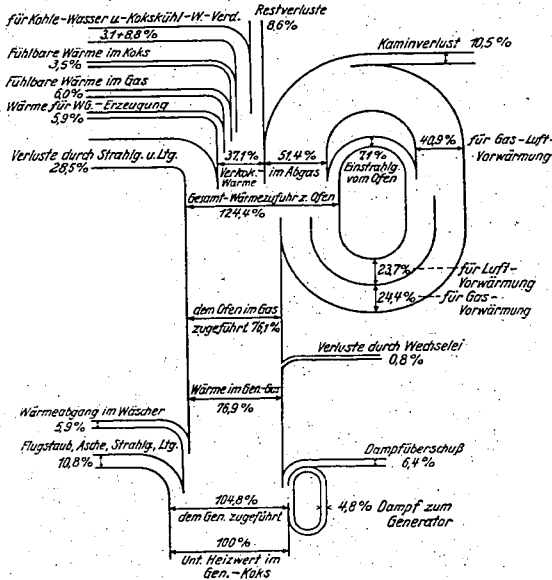


Abb. 73. Wärmefluß im stetigen Ofen (Schläpfer).

Hervortretend ist beim stetigen Betrieb der geringere Anteil des Verlustes an fühlbarer Wärme im Koks und auch im Gas, dafür erscheint aber ein Wärmegewinn für Kokskühl-Wasserverdampfung.

Einzelgeneratorbeheizung des stetigen Ofens erfordert zusätzliche Wärmezufuhr als Generator-Dampf, hat aber, unter Einrechnung der Wiedereinstrahlung vom Ofen, keine Wärmeverluste; Zentralgeneratorbeheizung liefert neben Überschußdampf den Generator Dampfbedarf selbst (der Kammerdampfbedarf wird im Ofen erzeugt); hat aber wesentliche Wärmeabgänge.

Die Regeneration muß diesen Wärmeabgang des Generators z. T. wieder einholen. Insgesamt erscheint der Wärmerückgewinn des Regenerators in obigem Bild (Abb. 73) unverhältnismäßig besser, doch sind dabei einerseits vorgenannte Wärmeabgänge des Generators, andererseits die Tatsache zu berücksichtigen, daß in Abb. 41 nicht die günstigste Ausführungsform des Rekuperators vorliegt und daß ein Teil des mangel-

anderer Verwendungsmöglichkeit höheren Abgasverlustes einen größeren Betrag Abhitzedampf ergibt, als der Kessel des Zentralgenerators liefert.

β) *Betriebsergebnisse.*

Beschaffenheit von Gas- und Nebenprodukten. Wie bei Aufzählung der Vorteile des stetigen Verfahrens bereits erwähnt wurde, ist die Besonderheit der Vorgänge in der Kammer von großem Einfluß auf die Beschaffenheit der Anfallstoffe. Die Menge und der Heizwert des Gases kann in breitem Umfange durch die Dampf- und Wasserzufuhr beeinflusst werden. Die Grenzen dieser Möglichkeit wurden bei dem Naßbetrieb der unterbrochen arbeitenden Kammer erwähnt (S. 62) und gelten im gleichen Sinne für den stetigen Betrieb. Ausgeführte Anlagen arbeiten mit Heizwerten von etwa 5000 kcal bis zum Normheizwert 4200 kcal. Versuchsweise ist z. B. im Dresdener Ofen von 5360 bis 3190 kcal variiert worden mit Dampfmenngen von 1 bis 100 kg je kg Kohle. Der Mengendurchsatz an Kohle ist bei Koppers-Öfen mit 50% des Höchstdurchsatzes ohne merkliche Unterfeuerungsänderung durchgeführt worden.

Die durch das Fortschreiten der Entgasung unter gleichzeitigem Absinken der Ladung in der Kammer gebildete keilartige Form des von der Teer-naht umschlossenen Kohlekernes ermöglicht es dem Gas, auf dem bequemsten Wege durch die Kohle und ohne starke Überhitzung abzu ziehen. Dadurch werden alle Gasbestandteile, sowie die Teernebel weitgehend schonend behandelt und das hat zur Folge, daß aus dem stetigen Vertikalofen sogar ein mit aliphatischem Schwelteeer gemischter dünnflüssiger Vertikalofenteer mit wenig freiem Kohlenstoff anfällt. Der Naphthalin Gehalt im Gas ist gering, dagegen wird neben guter Benzol ausbeute ein hoher Methan Gehalt erreicht. Hierin liegt zugleich die hohe Gasausbeute des stetigen Ofens begründet; das hochwertigere Kohlengas ist besonders aufnahmefähig für Wassergaszusatz. Die Wassergaserzeugung findet gegenüber diskontinuierlichen Kammern infolge des noch längeren Weges und der dadurch sehr weitgehenden Dampfüberhitzung am glühenden Koks noch bessere Bedingungen, nicht nur für eine gute Wassergasbildung an sich, sondern auch für eine Autokarburatation beim Zusammentreten mit den Kohlengasen im Kammerkopf. — Eine gewisse Gleichartigkeit mit den Zusammenhängen und Ergebnissen beim Rostöcker Verfahren (S. 81) ist nicht zu verkennen. — Die besonders günstige Ausnützung der Kokswärme im stetigen Ofen hebt Baum hervor¹⁾ und ermittelt, daß die darin zur Verfügung stehende Wärme von rund 18000 kcal je 100 kg Rohkohle den Wärmearaufwand von 19,5 nm³ Wassergas % kg Kohle decken kann. Demgegenüber gehen Angaben von Bagas und Tomlinson, daß man 32 nm³ Kammerwassergas % kg Kohle erhalten kann, zweifellos zu weit.

¹⁾ Gas- und Wasserfach 76 (1933) S. 397.

Eine sehr viel besprochene und umstrittene Frage ist die der Koksbildung im stetigen Ofen. Die Überlegung, daß ein in Bewegung erstarrender Koks eine andere Form und Beschaffenheit haben müsse als ein ruhend erstarrender, wird bisweilen gestützt auf die Beobachtung, daß der obere Kopf eines Kokskuchens von gemahlener, stark gesinterter Kohle im unterbrochen betriebenen Vertikalofen eine auffallend blasige, lockere Struktur zeigt, infolge Absinken des inneren Kohlekerns neben bereits erstarrtem Wandkoks. Aber gerade dieser Vergleich zeigt den Vorteil des stetigen Betriebes, daß, wenn auch der Kohlekern hier niedersintert, sofort ein Nachrieseln der darüberliegenden Kohle einsetzen muß, wodurch dieser Schwund ausgeglichen wird. Gegenüber diesem grundsätzlichen Mißtrauen gegen jeglichen »stetigen Kammerkoks« darf billigerweise auch nicht die Forderung erhoben werden, daß der stetige Ofen jede Kohle verarbeiten müsse. Auch dem unterbrochen arbeitenden Vertikalofen darf nicht jede Kohle zugemutet werden. Blähende Kohle ist für beide Arten ungeeignet, in beiden wird der Koks um so besser, je mehr die Kohle der Eignung des Ofens entsprechend ausgewählt und aufbereitet ist. Im Hinblick auf das erwähnte Vorurteil gegen Koks aus stetigen Kammern, das von den schlechten Erfahrungen des ersten stetigen Retortenbetriebes mit wenig geeigneter, englischer Kohle herrührt, sei hiernach auf eine Anzahl sehr sorgfältiger und vielseitiger Betriebsversuche hingewiesen, die über die Beschaffenheit dieses Kokses an sich oder im Vergleich mit anderen Koks Klarheit geben sollten.

Zwei Grenzfälle der Koksbeschaffenheit sind zuvor noch zu betonen: Weicher, klüftiger Gaskohlenkoks und harter Fettfeinkohlenkoks. Es wurde unter »Naßbetrieb« bei den unterbrochen arbeitenden Kammern (S. 61) erwähnt, daß bei langem Dampfen eines an sich sehr klüftigen Kokses die stärkere Ausarbeitung der Klüftung eine natürliche Folge ist. Dasselbe muß bei dem im Verhältnis meist noch längeren Dampfen des Kokses im stetigen Ofen eintreten und ist eine derartige Kohle dafür ebensowenig geeignet wie für andere Systeme, wenn auf guten Verkaufskoks gearbeitet wird. Daß »Gießereikoks« für Wassergasanlagen wegen seiner schlechten Reaktionsfähigkeit nicht brauchbar ist, ist bekannt. Daher ist es selbstverständlich, daß Fettfeinkohle Karoline (22,8% flücht. Best.) sich nach Versuchen von Koppers im stetigen Ofen nicht eignete, weil der dichte Koks weder Umsetzung, noch Gasdurchgang gestattete.

An Vergleichsversuchen über stetigen Kammerkoks sind zu erwähnen:

1. Mannheim, Versuch durch Gasinstitut, Kohle Bismarck, durchgesetzt in stetigen und periodischen Öfen, gleiche Mengen Koks getrennt über die Aufbereitung geschickt:

	Anfall an	0—12	12—26	26—50	über 50 mm
Koks aus stetigen Öfen		17,6	15,5	39,1	27,8
» » periodischen Öfen		20,9	15,0	34,0	30,1

Der stetige Ofen ergab etwas weniger Kleinmaterial, andererseits weniger Grobstücke, insgesamt war in der Größenordnung eine nahe Übereinstimmung beider Sorten.

2. Berlin-Tegel, Werksversuch mit gleicher Kohle, gleiche Mengen gleich sortiert.

Anfall an	Grus	Kleinkoks	Grobkoks
Koks aus stetigen Öfen	5,6	8,8	85,6%
» » periodischen Öfen	4,8	9,2	86,0%

3. Heilbronn, Koksuntersuchung durch Gasinstitut, Kohle Achenbach, Trommelprobe 40/60 ergab 73,2% über 40 mm, 16,6% 20/40 mm.

4. Deringer¹⁾ berichtet über eingehende Versuche mit dem Ergebnis, daß bei sorgfältiger Beachtung der Kohleauswahl (nach Verkockungseignung und Körnung) der im stetigen Ofen erzeugte Koks dem im periodischen Ofen (Coze-Öfen) erzeugten in keiner Weise nachsteht. Er fand bei Trommelproben mit Körnung 40/60 aus gleichen Kohlemischungen, in stetigen Vertikalkammern und Coze-Öfen verarbeitet:

Kohlemischung	Stetige Öfen	Coze-Öfen
Saar — Engl. — Ruhr > 40	46,5%	26,8%
10—40	37,1%	53,1%
0—10	16,4%	20,1%
dgl. mit 20% Fettk. > 40	57,4%	51,6%
10—40	31,5%	35,9%
0—10	11,5%	12,5%

Deringer legte zur Erreichung dieser Koksgüten besonderen Wert auf gleichmäßige Kohlekörnung.

Betriebszahlen. Hinsichtlich Betriebsleistungen und Leistungsversuche soll unter Hinweis auf die bei den periodischen Kammern gegebene Begründung von einer Gegenüberstellung einzelner Sonderversuche od. dgl. abgesehen werden. Zur Übersicht über die Leistungsfähigkeit der stetigen Vertikalöfen werden nachstehende Betriebsdaten, die in den Anlagen der verschiedenen Firmen erreicht wurden, als praktische Größenordnungen angegeben, und zwar sowohl für normale wie für zurückgesetzte Durchsatzleistungen.

Bei normalem Durchsatz von 8 bis 10 t/Tag/Kammer liegen die Heizwertzahlausbeuten, 0^o/760 mm auf Reinkohle gerechnet, bei 2300 bis 2500; bei sinkendem Durchsatz und dementsprechend stärkerer Wassergaserzeugung geht zwar der Heizwert zurück, die Heizwertzahl aber steigt infolge verhältnismäßig stärkerer Karburierung des Wasser

¹⁾ Schweiz. Ver. G.W.F., Mon.-Bull. 1935, S. 251.

gases in der Kammer. Bei Heizwerten, die unter dem Normheizwert liegen, werden Heizwertzahlen von 2700 und mehr erreicht. Diese Ausbeuten sind natürlich mit von der Kohlensorte beeinflusst.

Der Unterfeuerungsverbrauch der stetigen Vertikalkammern ist im allgemeinen sehr günstig und hält sich auch bei nicht zu erheblichen Durchsatzminderungen in normalen Grenzen. Bei Berechnung als Reinkoksverbrauch auf Reinkohlendurchsatz ergeben sich Werte um 11%, bei hohem Durchsatz der Kammer auch bis unter 10%. Die Reinkoks-Unterfeuerung in kg Reinkoks auf 100 m³ Gaserzeugung (15^o/760 Rohkohle) liegt bei 20—21 kg/°/m³, bei günstiger Belastung auch unter 20 kg/°/m³. Unterschreitungen bis zu 50% des Normaldurchsatzes erhöhen den Unterfeuerungsverbrauch je kg Kohle nicht wesentlich, nur bei besonders starker Wassergaserzeugung in der Kammer durch verstärkten Dampfzusatz muß mit entsprechendem Anstieg der Unterfeuerung gerechnet werden. (Vgl. Beziehungen zwischen Naßbetrieb und Unterfeuerungsverbrauch, S. 64, 65)¹⁾. Versuche zur Feststellung der in demselben Ofen erreichbaren Grenzwerte ergaben Heizwerte zwischen 4430 und 3190 kcal (GW Dresden).

Diese weitgehende Anpassungsfähigkeit des stetigen Vertikalofens ist also ein besonders hervorzuhebender Vorteil.

Die Betriebsüberwachung muß sich vor allem erstrecken auf die Überwachung ausreichender Kohlezufuhr und angemessener Wasser- bzw. Dampfzusatzmengen im Verhältnis zu der durch die Koksaustragevorrichtung geregelten Durchsatzmenge. Prüfen des Nachrutschens der Kohle in der Kammer ist bei richtiger Kohlauswahl und Beheizung nicht oder kaum notwendig, ist aber durch Stochlöcher neben dem Kohlefüllrumpf jederzeit möglich. Für die Entfernung des Graphits, der natürlich auch im stetigen Ofen nicht ausbleibt, hat sich eine schnell wirkende Arbeitsweise ausgebildet, die ohne Luft, nur mit Dampf arbeitet und ein Wiedereinschalten der Kammer innerhalb 24 h ermöglicht. Nach Entfernung des Graphits wird die Kammer mit Kleinkoks gefüllt, worauf man Kohle nachlaufen läßt.

C. Zusammenfassung und Ausblick.

Der in fortgesetzter Durcharbeitung und Umgestaltung weiterentwickelte Vertikalkammerofen ist in weit überwiegendem Umfange — für größere Werke restlos — an die Stelle seines Vorläufers, des Vertikalretortenofens getreten. Auch der Vertikalretortenofen ist neuzeitlich verbessert und in dieser Form für kleine Werke brauchbar, die nicht zur Vertikalkleinkammer übergehen wollen. Bei sonst ausreichender Be-

¹⁾ Baum, Gas- und Wasserfach 76 (1933) S. 39.

triebseinrichtung ist aber auch für kleinere Werke die Vertikalklein-kammer in mehrfacher Hinsicht der Retorte vorzuziehen; für mittlere Werke stellt sie eine denkbar günstige Bauform dar. — Bei den großen Vertikalkammern ist das auch bei anderen Ofenbauarten zeitweise vorhanden gewesen. Bestreben nach möglichst weitgehender Kammervergrößerung nicht allgemein geworden. Die Großkammern von 5 bis 7 t dürften die obere und nur in Sonderfällen angewandte Gebrauchsgrenze bleiben.

Die eine Zeitlang sehr bevorzugte 24stündige Kammer hat wegen ihrer weniger günstigen Durchsatzleistung und der geringeren Anpassungsfähigkeit an Bedeutung verloren und entsprechend der gesteigerten Güte des Kammermaterials werden höherbeheizte Kammern mit kürzerer Ausstehzeit, vornehmlich 12—14 h, im Vordergrund bleiben.

Gegenüber der unterbrochen arbeitenden Kammer hat der stetige Vertikalkammerofen nicht die Anerkennung und Verbreitung gefunden, die ihm nach seinem Entwicklungsstand gebührt. Wenn er auch etwas sorgfältigere Überwachung voraussetzt, so bedeutet dieser Grund doch für neuzeitlich arbeitende Betriebe keine Erschwerung. Die meisten gegen diesen Ofen bestehenden Bedenken und Vorurteile sind nach dem neueren Stand seiner Ausbildung und seinen Betriebsergebnisse nicht mehr berechtigt.