

B e r i c h t i g u n g zu HVG-Mitteilung Nr. 447

Auf S. 552, 9. Zeile v.o. muss es heissen :

“Während bei Trommel II eine Temperatur von etwa 1360°
erreicht wurde,

Juni 1941

H V G.- Mitteilung Nr. 447

Zur Entwicklung des generatorgasbeheizten ortsbeweglichen Trommelofens.

Trommelöfen, auch Trommeln, Auftreib- oder Verwärmtrömmeln genannt, werden hauptsächlich für zwei Aufgaben verwendet. Bei Hohl- und Preßglas dienen sie dazu, das beim Arbeitsvorgang abgekühlte Glas für eine weitere Verarbeitung, bei Hohlglas insbesondere zum Auftreiben, wieder zu erhitzen; bei Preßglas haben sie außerdem die Aufgabe, dieses zu verwärmen, also einer nachträglichen Feuerpolitur zu unterziehen, bei der durch Erhitzen der obersten Schichten die Kanten, Grate und Unebenheiten, die vom Preßvorgang herrühren, ausgeglichen werden.

Alle diese Erwärmungsvorgänge müssen sehr schnell verlaufen, um den Arbeitstakt der Werkstellen nicht zu stören. Hohe Temperatur in der Trommel ist also erstes Erfordernis, und zwar soll diese zum Auftreiben bei 1300 bis 1400° liegen; zum Verwärmen sind eher noch höhere Temperaturen erwünscht, da hier die äußerste Glas-schicht bis zum Fliessen erhitzt sein muß, während der Kern des Stückes so kalt bleiben soll, daß er in der Lage ist, die Form aufrecht zu erhalten. Dies ist nur möglich, wenn die Wärme schneller zugeführt wird, als sie von der Außenschicht zum Kern abfließen kann. Die für diesen Zweck bisher verwendeten Bauarten genügen nicht allen Ansprüchen. Wir haben deshalb auf Grund der Ergebnisse von Messungen und Berechnungen den nachstehenden Bericht ausgearbeitet, der Anregungen zur Entwicklung einer neuzeitlichen Bauart geben soll.

1. Ofenatmosphäre.

Trommelöfen sollen mit reduzierender Flamme arbeiten, da sich andernfalls ein Beschlag auf der Oberfläche der Stücke bildet, der nur schwer wieder entfernt werden kann. Die selbe Wirkung zeigt sich anscheinend auch bei hohem Wassergehalt des Gases; jedoch sind die Zusammenhänge und auch der Charakter der Trübung noch nicht bekannt. Offenbar wird der Beschlag verhindert, wenn das Gas teerhaltig ist. Es steht auch hier noch nicht fest, ob diese

Wirkung dadurch zu erklären ist, daß mit teerhaltigem Gas leichter reduzierend gearbeitet werden kann, oder ob die Teerflamme nur in anderer Weise günstig einwirkt.

2. Bauart der Trommeln.

Es sind verschiedene Bauarten von Trommelöfen in Gebrauch, deren Unterschiede sich hauptsächlich aus der Beheizung ergeben.

a. T e e r - u n d Ö l b e h e i z t e T r o m m e l n .

Infolge der günstigen Verbrennungseigenschaften von Teer und Öl können diese Trommeln mit Kaltluft betrieben werden und erreichen dabei Temperaturen von 1500 - 1600°. Die Bauweise ist also sehr einfach, so daß sich die Trommel leicht in einem ortsbeweglichen Eisengeschränk unterbringen läßt. Die Einstellung reduzierender Verbrennung bereitet bei diesen Brennstoffen keine Schwierigkeiten. Als Nachteil ist die Belästigung der Glasmacher durch das Herausschlagen der Flamme anzusehen, das sich schlecht verhindern läßt, da die Trommel zur Erhaltung der reduzierenden Atmosphäre im Ofenraum einen Überdruck aufweisen muß. Teeröl wird teilweise aus Preisrücksichten dem Gasöl vorgezogen, jedoch ergibt sich dabei der Nachteil, daß die Teerölbehälter und Leitungen erwärmt werden müssen, um den Brennstoff flüssig zu halten. Jede Unregelmässigkeit bei Leitungsbeheizung führt zu Verstopfungen und Betriebsstörungen. Im Zusammenhang mit der Umstellung auf nicht devisenbelastete Heilmittel wird diese Beheizungsart weitgehend ausgeschaltet. Dementsprechend rückt die gasbeheizte Trommel in den Vordergrund.

b. S t a d t g a s b e h e i z t e T r o m m e l n .

Mit Stadtgas (Koksofengas, Ferngas) sind die im Trommelofen notwendigen Temperaturen ohne große Schwierigkeiten zu erreichen. Zur Verbesserung der Wärmeausnutzung kann die Verbrennungsluft durch die Abgase rekuperativ vorgewärmt werden. Auch diese Ausführung baut sich recht einfach auf, so daß eine ortsbewegliche Anordnung in Eisengeschränk möglich ist. Wenn reduzierende Verbrennung notwendig ist, bereiten diese Brennstoffe mit ihrem hohen Wasserstoffgehalt Schwierigkeiten. Man behilft sich dann mit Teerzusatz.

c. G e n e r a t o r g a s b e h e i z t e T r o m m e l n
a l t e r B a u a r t .

Bei Beheizung der Trommeln mit Generatorgas ist es infolge der geringen Nutzwärme dieses Gases schwierig, die notwendigen Temperaturen zu erreichen. Bei den für diese Beheizungsart bekannten Ausführungen wird die Luft in einem schweren unterirdischen Steinrekuperator auf ca. 500° erhitzt. Die Verbrennung wird eingeleitet durch einen gemauerten Brenner, der meist nach Art der Büttensbrenner von Hafenoöfen durchgebildet ist. Die Konstruktion der ganzen Öfen ist im allgemeinen sehr schwer gehalten, so daß der Ofen im Betriebszustand eine große Masse hochohitzten Mauerwerks darstellt. Dieser Zustand ermöglicht es zwar, die notwendigen Temperaturen zu erreichen, ergibt aber auch einen sehr hohen Wärmeverbrauch und insbesondere eine l a n g e A n h e i z z e i t von 8 Stunden und mehr. Im Hafenoöfenbetrieb ist es infolgedessen praktisch nicht möglich, die Trommeln für jede Benutzung einzeln in Betrieb zu setzen. Sie werden vielmehr, selbst wenn an ihnen nur wenige Stunden des Tages gearbeitet wird, ununterbrochen beheizt. Hierdurch ergibt sich, bezogen auf die Nutzleistung, ein sehr hoher Wärmeverbrauch. Die Verbrennungsluft wird bei dieser Bauart durch den natürlichen Zug der Rekuperatoren gefördert. Die Abgase werden dem Hauptschornstein zugeleitet.

d. G e n e r a t o r g a s b e h e i z t e T r o m m e l n
n e u e r B a u a r t .

Die bisherigen Bauarten gasbeheizter Trommelöfen zeigen also beachtliche Nachteile, deren wichtigste für Beheizung mit Generatorgas die Notwendigkeit der ununterbrochenen Beheizung und damit der hohe Wärmeverbrauch ist. Ausserdem ist der unterirdische Rekuperator unzugänglich und bedingt bei Betriebsstörungen eine Stilllegung der Trommeln. Es wäre also wünschenswert, eine leichte, nach Möglichkeit in Eisengeschränk eingebaute ortsbewegliche Trommel für Beheizung mit Generatorgas zu entwickeln. Einige Ausführungsformen hierfür bestehen bereits. Sie konnten jedoch nicht zu befriedigenden Ergebnissen führen, sondern sind als Entwicklungsstufen zu werten, die Erfahrungen zu weiteren Verbesserungen vermitteln.

3. Betriebszahlen.

a. G a s z u s a m m e n s e t z u n g .

Die Beheizung der Trommelöfen verlangt bei Generatorgas die restlose Ausnutzung der verfügbaren Wärme. Es ist also im Einzelfall jeweils festzustellen, wie diese Werte bei dem betreffenden Gas liegen. Hierfür genügt es nicht, den aus der Analyse errechneten Heizwert des trockenen teerfreien Gases zu Grunde zu legen, sondern es müssen auch die Einflüsse des Wasser- und Teergehaltes sowie der Eigenwärme des Gases und der Luft beachtet werden. Die Verbrennungstemperatur eines Gases ist bei sonst gleichen Bedingungen umso höher, je

höher der Heizwert,
höher der Teergehalt,
niedriger der Wassergehalt,
höher die Gastemperatur

ist. Die Einflüsse von Teer und Wasser müssen über den Heizwert des feuchten teerhaltigen Gases erfasst werden. Um eine Rechnungsgrundlage auch für die Einrechnung der Eigenwärme des Gases und später der fühlbaren Wärme in der Verbrennungsluft zu bieten, werden nachstehend Vergleichswerte gegeben, die zeigen, welche Temperaturen einer Wärmemenge von 100 kcal/Nm^3 Gas entsprechen.

Gastemperatur $320^\circ = 100 \text{ kcal/Nm}^3$

Lufttemperatur $250^\circ = 100 \text{ " "}$

Diese Werte sind nach dem I-T Diagramm von Rosin ermittelt. Um festzustellen, welche Wärmemengen einer Trommel je Nm^3 Gas zugeführt werden, sind also dem Heizwert des feuchten teerhaltigen Gases die Werte zuzurechnen, die sich für die Luft- und Gasvorwärmung aus obigen Bezugswerten ergeben. Sie erlauben es, die dem Ofen jeweils insgesamt zugeführte Wärmemenge mit genügender Genauigkeit zu errechnen, wobei als Rechnungsgrundlage jeweils ein Nm^3 Gas gilt.

b. E r f o r d e r l i c h e W ä r m e m e n g e .

Die je Nm^3 Gas notwendige Wärmezufuhr kann mit guter Annäherung aus Betriebsuntersuchungen abgeleitet werden, die an zwei Trommeln verschiedener Bauart durchgeführt wurden. Die Wärmezufuhr ergibt sich aus der nachstehenden Übersicht :

		Trommel I	Trommel II
Gasheizwert	kcal/Nm ³	1490	1510
Teergehalt des Gases	g/Nm ³	70	30
Wassergehalt des Gases	g/Nm ³	150	200
Gastemperatur	°C +)	50	400
Lufttemperatur	°C +)	250	900

+) Bei Eintritt in den Brenner.

Damit wird nach den oben aufgeführten Kennzahlen die Wärmezufuhr bei Trommel I = 1785 kcal/Nm³ Gas, bei Trommel II = 1860 kcal/Nm³ Gas. Während bei Trommel II eine Temperatur von etwa 1300° erreicht wurde, konnte mit Trommel I nur etwa 1300° erzielt werden, beide Temperaturen gemessen an der heissesten Stelle des Mauerwerkes mit Teilstrahlungs-pyrometer. Bei Trommel I war die Vorwärm-dauer unzulässig hoch, sie lag z.B. für gepresste Schalen von etwa 25 cm Ø bei 25 Sekunden, so daß der Betrieb mit dieser Trom-mel nicht auf die Dauer arbeiten konnte. Bei Trommel II, die in einer anderen Hütte steht, war kein geeignetes Vergleichsstück zur Verfügung, jedoch befriedigte die Trommel für die darin ge-arbeiteten Stücke. Als Grenze kann etwa eine notwendige Wärmezufuhr von 1850 kcal/Nm³ angesehen werden, bei besonders schwer zu verwärmenden Stücken wird eher ein etwas höherer Wert anzustreben sein.

c. R o h g a s oder R e i n g a s .

Vom ofenbaulichen Standpunkt ist wegen der leichteren Regelung und angenehmeren Leitungsführung das Reingas vorzuziehen, jedoch ist hinsichtlich der Wärmemengen das Rohgas überlegen, da der Wärmeinhalt des Teers den Wärmebedarf der Gasfeuchtigkeit in den meisten Fällen übertrifft, zudem bringt das Rohgas noch fühlbare Wärme mit. Bei sorgfältiger Wärmeausnutzung wäre es jedoch mög-lich, auch mit Reingas die nach b) notwendigen 1850 kcal pro Nm³ einzuführen.

Neben den Wärmemengen ist der Einfluß auf die Beschaffenheit der Oberflächen zu beachten (vgl. 1), der nur durch eine Viel-zahl von Beobachtungen, die heute noch nicht vorliegen, geklärt werden kann. Es erscheint deshalb zunächst angebracht, als erste Stufe eine geeignete Bauart für den Rohgasbetrieb anzustreben.

Hüttentechnische Vereinigung der deutschen Glasindustrie, Frankfurt am Main

d. G a s d r u c k .

Die vielfältigen Anforderungen, die an den Trommelbetrieb gestellt werden, machen gute Regelung, einwandfreie Mischung und möglicherweise Gasvorwärmung zum dringenden Erfordernis, Einrichtungen, die Widerstände in der Gasleitung ergeben, also einen höheren Gasvordruck verlangen als die alten Bauarten. Man wird im allgemeinen mit einem Druck von 20 mm WS in der Gasleitung rechnen müssen, nach Möglichkeit zur Schaffung einer Reserve noch etwas höher gehen. Solche Drucke sind nur auf wenigen Hütten im Rohrnetz vorhanden, ihre Einführung für den ganzen Betrieb ist auch vielfach nicht ohne weiteres möglich, sei es im Hinblick auf die Regelung der Schmelzöfen oder gar auf die Dichtigkeit des Gaserzeuger-Mauerwerkes. In solchen Fällen bleibt nur die Möglichkeit, den für die Trommeln bestimmten Teil des Gases auf höheren Druck zu bringen. Die Verdichtung kann in einem Gebläse (Ventilator) erfolgen, das zur Vermeidung allzu starker Teerabscheidung mit Dampf beheizt werden muß. Anlagen dieser Art sind bekannt und ihr Betrieb bereitet keine ernstlichen Schwierigkeiten.

e. A b g a s w ä r m e .

Da die Trommeln unter Überdruck arbeiten, schlägt ein Teil der Flamme aus dem Ofenraum heraus, die darin enthaltene Abgaswärme geht also verloren. Ist die Verbrennung in der Trommel einwandfrei einstellbar, so beträgt dieser Verlust nach vorsichtiger Schätzung 20 %, es bleiben also 80 % der Abgase zur Wärmeausnutzung verfügbar, die zur Luftvorwärmung heranzuziehen sind. Rechnet man mit einer Eintrittstemperatur der Abgase in den Rekuperator von 1000° , was sich immer erreichen lassen wird und mit einer Austrittstemperatur von 400° , so erhält man bei einem Luftbedarf von $1,3 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ und einer Abgasmenge von $2,2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ eine erreichbare Luftvorwärmung von

$$\frac{0,8 \cdot 2,2 \cdot (1000 - 400)}{1,3} = 800^{\circ}$$

Dieser Wert bringt nach der früher gegebenen Aufstellung eine Wärmezufuhr von $250 \text{ kcal}/\text{Nm}^3$ Gas, ein Betrag, der auch in wenig günstig liegenden Fällen zur Erzeugung der notwendigen $1850 \text{ kcal}/\text{Nm}^3$ ausreichen wird. Es zeigt sich somit, daß die wichtigste Voraussetzung für einen Betrieb der Trommeln mit Generatorgas in einer ausreichenden Luftvorwärmung liegt.

Nach vorstehendem Überschlag tritt das Abgas aus dem Rekuperator mit 400° aus. Kommt das Frischgas mit geringer Temperatur, etwa 100° , aus der Leitung, so könnte eine zusätzliche Gasvorwärmung vorgesehen werden.

f. A b s t r a h l u n g .

Der Wärmeaufwand der Trommeln dient nur zu einem kleinen Teil, etwa 2 - 5 %, der Deckung des Nutzwärmebedarfs, der Hauptteil geht als Ausflam- und Abgasverlust (vgl. e) verloren, soweit er nicht zur Luftvorwärmung ausgenutzt wird. Als weitere Verluste treten die Wandstrahlung auf, die sich jedoch in bescheidenen Grenzen hält, und schließlich die Strahlung aus dem Arbeitsloch. Letztere kann recht beachtliche Werte annehmen, sie schwankt in weiten Grenzen mit dem Durchmesser des Arbeitsloches, der wiederum von der Größe des Werkstückes abhängt, da die Vorsetzsteine je nach dem gerade gearbeiteten Werkstück ausgetauscht werden.

Der Betrag der abgestrahlten Wärmemenge kann berechnet werden, wobei der Ofenraum als absolut schwarzer Strahler zu betrachten ist. Die abgestrahlte Wärmemenge beläuft sich auf :

$$Q = 4,96 \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

Hierin bedeuten :

Q die Abstrahlung in kcal/m²h

T die absolute Ofenraumtemperatur.

Bei einer Trommeltemperatur von 1300°C erhält man hiermit

$$Q = 303700 \text{ kcal/m}^2\text{h.}$$

Für verschiedene Arbeitslochdurchmesser errechnet sich dann die Abstrahlung wie folgt :

Öffnungsdurchmesser cm	Abgestrahlte Wärmemenge kcal/h
15	5400
20	9500
25	14900
30	21500
35	29200

Diesen Strahlungsverlust auszuschalten, wird während des Normalbetriebes nicht möglich sein, da sich fast ununterbrochen ein Stück im Ofen befindet und das Arbeitsloch nicht nur für das

Hefteisen frei sein, sondern zugleich eine Beobachtung des Stückes gestatten muß. Wegen der wechselnden Sichtverhältnisse in der rauchenden Flamme erscheint es angebracht, auch von einer teilweisen Verdeckung des Arbeitsloches abzusehen. Bei weniger häufiger Benutzung würde sich ein Schließen der Öffnung in den Arbeitspausen empfehlen, selbstverständlich kommt im Hinblick auf die kurze Verwärmendauer nur eine sehr leicht zu bedienende Einrichtung in Betracht, es würde also eine senkrecht bewegliche Tür mit Gegengewicht und Fußbetätigung ausreichen. Dichter Abschluß ist bei den gewöhnlichen Bauarten kaum zu erreichen, auch nicht unbedingt erforderlich, da hier zunächst nur an die Verhinderung der Abstrahlung gedacht ist.

Eine Verminderung des Strahlungsverlustes ist in vielen Fällen außerdem möglich dadurch, daß stets nur die gerade benötigte Arbeitslochgröße verwendet wird, da gemäß obiger Aufstellung bereits geringe Unterschiede einen erheblichen Einfluß ausüben. Auch in den Arbeitspausen und beim Anheizen ist eine bedeutende Ersparnis durch Verschließen der Arbeitslöcher mittels Kuchen zu erzielen, eine Möglichkeit, von der viel zu selten Gebrauch gemacht wird.

4. Folgerungen für eine Neukonstruktion.

Die bisherigen Ausführungen zeigen, daß es bei sachgemäßem Bau und Betrieb möglich sein muß, auch eine leicht gebaute Trommel mit Generatorgas zu beheizen. Bei einer derartigen Ausführung kann ein Unterbau wegfallen und der Trommelraum in einem leichten Aufbau, auch in einem Eisengeschränk, Aufnahme finden.

a. T r o m m e l r a u m .

Die Form des Trommelraumes ist entweder zylindrisch oder auch schwach kegelig (nach vorn enger werdend). Der Brenner liegt im hinteren Drittel und wird nahezu tangential angeordnet. Da die Flamme eine Schraubenlinie bilden soll, kann die Austrittsrichtung der Feuergase um einen geringen Betrag gegen die Senkrechte zur Trommelachse in Richtung auf das Arbeitsloch geneigt werden. Der Abzug liegt im vorderen Drittel. Er wird ausreichend bemessen und erhält einen einwandfrei einstellbaren Schieber. Anschluß an einen Abgaskanal ist bei aufgebautem Rekuperator entbehrlich, sofern sich die Hütte einwandfrei entlüften läßt.

b. R e k u p e r a t o r .

Eines der wichtigsten Bauelemente ist der Rekuperator, der auf die Trommel aufgebaut werden kann. Man wird sich hierbei die bekannten Vorteile des Metallrekuperators - geringer Platzbedarf und niedriges Gewicht - zunutze machen. Die Teile, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind, werden hierbei aus legiertem Gußeisen oder besser Edelstahl, die übrigen aus gewöhnlichem Stahl ausgeführt. Für den Teil, der unmittelbar an den Ofenraum anschließt, genügen auch Edelstähle nicht, es bestehen zu seiner Ausgestaltung zwei Wege :

- a) Dieser Teil wird als Steinrekuperator oder Edelstahlrekuperator mit steingeschützten Wänden ausgeführt,
- b) die Abgase werden vor dem Rekuperator durch Kaltluftzusatz abgekühlt.

Die erste Ausführung macht die Konstruktion etwas umständlicher, bei der zweiten wird die Abgasmenge und damit der Abgasverlust erhöht. Da aber äußerste Wärmeausnutzung geboten ist, wird die Lösung nach a) meist vorzuziehen sein. Bei der Ausgestaltung der Rekuperatoren ist besonders zu beachten, daß die Luft in den Metallrohren oder Elementen geführt wird. Diese Bauart ergibt eine bessere Abdichtung und günstigere Wärmeübergangsverhältnisse als die umgekehrte Anordnung.

c. B r e n n e r .

In der Glasindustrie werden noch vielfach, so auch bei Trommeln, die gemauerten Brenner alter Bauart verwendet. Günstiger sind Metallbrenner, da sie bessere Abdichtung und Regelung der einzelnen Mengen zulassen. Für Trommeln eignen sich die meist gebrauchten Formen der Metallbrenner, die Torsionsbrenner, weniger, da sie eine zu kurze Flamme erzeugen; die beste Form stellt deshalb der Flachbrenner dar.

5. Zusammenfassung .

Es besteht bisher keine befriedigende Bauart einer leichten, möglichst in Eisengeschränk eingebauten ortsbeweglichen Generatorgastrommel. Auf Grund von Messungen an einigen Übergangslösungen und von rechnerischen Erwägungen werden Vorschläge zur Konstruktion eines solchen Ofens zusammengestellt.

Die HVG bittet Hütten, die sich mit dieser Frage beschäftigen, oder entsprechende Arbeiten aufnehmen wollen, um Nachricht, damit durch Erfahrungs- und Anregungsaustausch eine beschleunigte Lösung möglich wird.