

PIOTR KABSCH*, HENRYK MELOCH*

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE REINIGUNG DER GLASOFENABGASE

In zahlreichen Betrieben der Glasindustrie mit Bleiglasschmelzung stellt die Abgasentsorgung zur Einhaltung gesentlich vorgegebener Emissionsgrenzwerte ein großes Problem dar. Die Aufgabenstellung für die vorliegende Arbeit erwuchs dem Wunsch, eine effektive Reinigung der Glasofenabgase mittels Injektionswäschern und Pulsierfiltern zu erzielen. Besprochen werden die Konstruktionen der Injektionswäscher, sowie ihre Vor- und Nachteile. Technische Bedingungen und Parameter für die Glasofenabgasentsorgung und die Einwirkung hydrodynamischer Bedingungen auf den Entstaubungs- und Absorptionsgrad im Injektionswäscher werden bestimmt. Der Aufsatz bringt ebenfalls eine kurze Besprechung von den Anforderungen zur Reinigung der Bleiglasschmelzungsabgas im Pulsierfilter. Die hier besprochenen Ergebnisse stammen von vieljährigen Untersuchungen, die im Labormaßstab und in der Naturskala durchgeführt wurden.

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Trotz der relativ geringen Abgasmengen stellen die Betriebe der Glasindustrie durch das Entstehen luftfremder, schädlicher Gase oder Stäube und deren Ausbreitung in die Umgebung wesentliche Umweltsgefährdung dar. Diese Gefährdung ist dem Gehalt an gefährlichen, giftwirkenden Stoffen im Abgasstrom zuzuschreiben. Die in diese Beitrag aufgefaßten Ergebnisse sich auf unsere jahrlangen Untersuchungen zur Reinigung der Glasofenabgase.

Die spezifischen Eigenschaften (d.h. der hohe Gehalt an Submikronkörner und Alkalien im Flugstaub; die Anwesenheit von sauren gasförmigen Schadstoffen – SO_x , NO_x , HF) sowie die relativ hohe Temperatur (durchschnittlich 250–350°C) der Glasofenabgase lenken unseres Interesse zu Naßabscheidern. Von denen wurden Injektionswäscher eingesetzt, die mit Umlaufwasser arbeiten. Nur im begrenzten Umfang befassen wir uns mit dem Trockenverfahren (Gasfiltration).

* TU Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polen.

2. NASSABSCHIEDUNG IN INJEKTIONSWÄSCHERN

Von den sehr Vielen verschiedenen Einrichtungen zum Stoff-, Impuls und Wärmeaustausch in der Abgasreinigungsanlage ruft der Injektionswäscher besonderes Interesse aus. Dem Funktionieren des Injektionswäscher liegt das Prinzip der Ausnutzung der Gasstromenergie zur Injektion, zur Dispersion und zum Transport der Flüssigkeit zugrunde. Dies gestattet einen automatischen Flüssigkeitsumlauf (ohne Pumpenanwendung) mit gleichzeitigem Staubabscheiden und Sorption in einem Gerät, das sich zusätzlich durch relativ kleinen Aufbaumaß auszeichnet und einfach zu betreiben ist. Diese Art von Venturi-Abscheider gestattet eine effektive Submikronstaubteilchentrennung. Bei hoher Berieselungsdichte (10^{-3} bis 10^{-2} m³ Flüssigkeit/m³ Gas) und – was damit verbunden ist – bei großer Einzelfläche des Stoffaustauschen werden günstige Bedingungen für die Absorption geschaffen. Im Falle der Glasofenabgase kann der Absorptionprozess durch chemische Reaktionen des saueren Gasbestandteilen mit den alkalischen, im Wasserkreislauf gelösten Staubkomponenten noch verstärkt werden. Der Betrieb wird zusätzlich durch die Ausschaltung eines wiederholten Flüssigkeitsumlaufes (mit Anwendung von Pumpen), sowie durch Ausschaltung der Zerstäubung (mit Hochdruckdüsen-einsatz) wesentlich vereinfacht.

Von den verschiedenartigen Injektionswäschern (die seit Jahren von den Verfassern untersucht worden sind [1], [2], [3], [4], [5]) wählten wir die in Bild 1 vorgestellten Konstruktionen. Wir waren uns vollkommen bewußt, daß die Vergrößerung der Skala einer Durchflußapparatur, die im Mehrstufensystem betrieben wird, viele wesentliche Schwierigkeiten in den Weg legt. Wir haben deshalb beschlossen, die Einzemodule der zum Staubabscheiden und Sorption bestimmten Injektionswäscher in Naturskala zu untersuchen. Diese Untersuchungsmethode schien nicht nur sehr wirtschaftlich, sondern auch sehr zuverlässig zu sein. Unter der Bezeichnung "Einzelmodul der Wäscherkonstruktion" (Bild 1A) verstehen wir ein solches Element, das durch Verfielfachung in Parallelverbindung eine Batterie mit vorausgesetzter Leistungsfähigkeit bildet. Der in der Batterie zu reinigende Gasvolumenstrom ist dann das Vielfache des im Einzelmodul zu reinigenden Gasvolumenstromes. Der Einzelmodul für die in die in Bild 1B und Bild 1C dargestellten Spaltwäscher besteht aus Elementen mit unveränderlicher Querschnittgröße. Die Vergrößerung der Skala wurde durch Längeveränderung in der Spalte im Wäscher erzielt. Das Funktionieren aller Einzelmodule wurde während der Reinigung vom industriellen Abgas überprüft.

Die Untersuchung des Moduls eines Zweistufen-Wäschers (Naßzyklon mit rotierender Flüssigkeit und Venturirohr) bestand aus einen dort durchgeführten Reinigungsverfahren. Gereinigt wurden Abgase vom Wannenofen zur Bleiglas-schmelze [1]. Der Abscheidegrad im Modul, der sich durch einen Zyklondurchmesser von 600 mm, eine Leistungsfähigkeit von 1600–1800 m³/h und einen Druckverlust von 5,0–5,9 kPa auszeichnete, betrug 94,5 bis 98,9%. Die Staubkon-

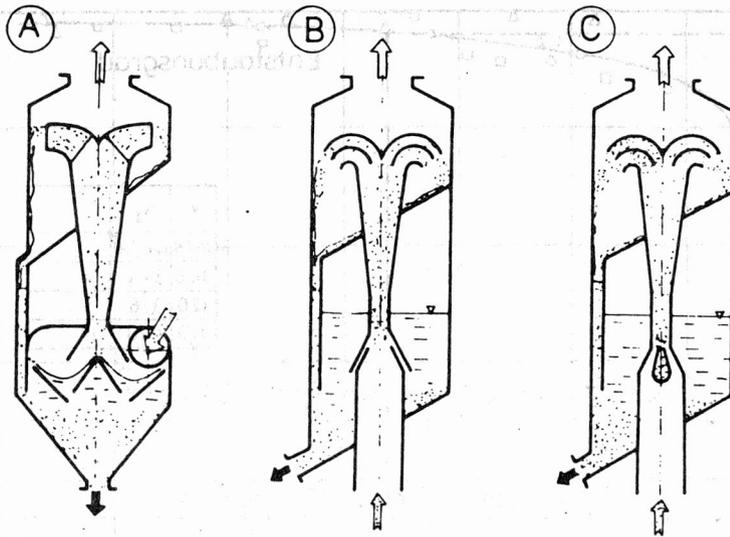


Bild 1. Zweistufen-Injektionswäscher (Wäscher A) und Spaltwäschern (B und C)

zentration die im Abgas zwischen $0,3$ und $1,6 \text{ g/m}^3$ oszillierte, wurde in Folge des Reinigungsverfahrens bis zu den Werten $5\text{--}45 \text{ mg/m}^3$ herabgesetzt. Wasserverbraucht bei Gaszuflußtemperatur von $190\text{--}200^\circ\text{C}$ bezifferte sich auf 67 bis 90 dm^3 Wasser/ 1000 m^3 Abgas. Gastemperatur nach dem Reinigungsverfahren war im allgemeinen unveränderlich und betrug $54\text{--}56^\circ\text{C}$.

Der Zweistufen-Injektionswäscher ist zum Staubabscheiden von solchen Abgasen geeignet, die sich durch unterschiedliche Konzentration und Kornzusammensetzung auszeichnen. Im Glashütten können Zweistufen-Abscheider zur gleichzeitigen Reinigung von Wannofen- und Gattierungsabgas dienen.

Flüssigkeitszufluß zum Spaltwäscher mit zentralangeordneter Düse verläuft durch Gravitation. Zur Untersuchung des Wäschermoduls wurde ein Reinigungsverfahren eingesetzt, womit der Staub aus dem Abgas vom Erdgasbefeuereten Wannofen zur Kristallglasschmelze abzuscheiden war [5]. Staubkonzentration im Abgas oszillierte zwischen 100 und 700 mg/m^3 (durchschnittlich 365 mg/m^3). Abgastemperatur betrug 190 bis 240°C . Wie es aus den Versuchsergebnissen zu entnehmen ist, beträgt die günstigste Gasgeschwindigkeit im Wäscherhals und die günstigste Berieselungsdichte entsprechend $30\text{--}35 \text{ m/s}$ und $3,5\text{--}4,2 \text{ dm}^3$ Flüssigkeit/ m^3 Gas. Druckverluste im Wäscher (zusammen mit jenen im Tropfenabscheider) bezifferten sich auf $6,5\text{--}7,3 \text{ kPa}$. Es wurde festgestellt, daß der Anfangsgehalt an Staub einen gewissen Einfluß auf den Abscheideeffekt ausübt (Bild 2). Die Durchschnitts- und Maximalgröße des Staubabscheidegrades war entsprechend 96% und $99,6\%$. Der Endgehalt an Staub war nicht größer als 30 mg/m^3 (durchschnittlich $13,4 \text{ mg/m}^3$).

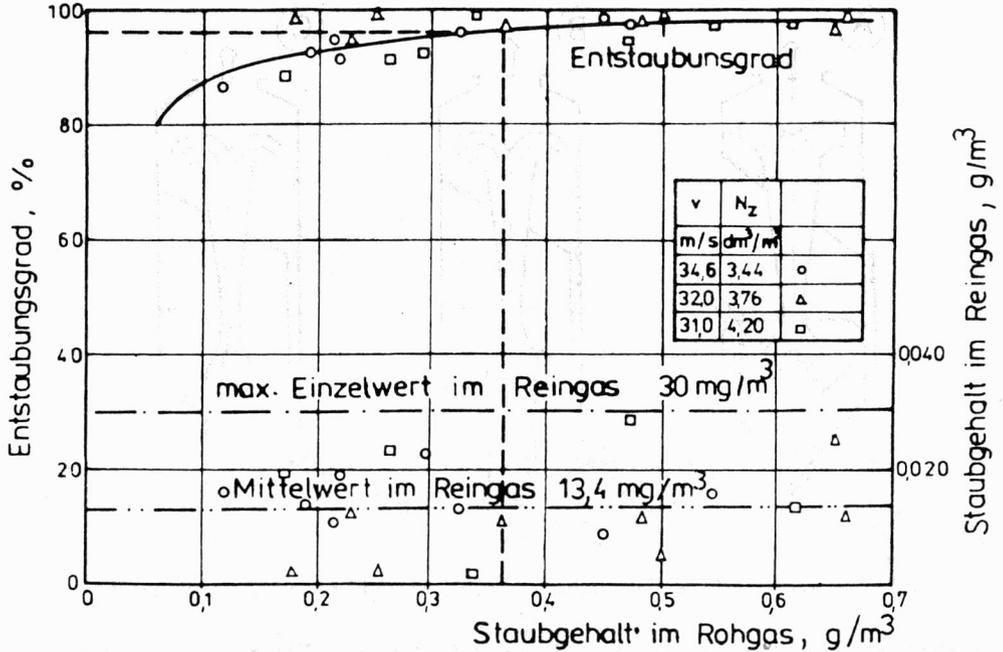


Bild 2. Abhängigkeit des Entstaubungsgrades im Wäscher C von der Staubkonzentration
 v – Gasgeschwindigkeit im Hals, N_z – Berieselungsdichte

Ausführliche Untersuchungen zum Wäscher C (Bild 1C) wurden mit Laborversuchen zur Hydraulik und Stoffaustausch begonnen [2], [3]. Sie gestatteten die Bestimmung der Energieausbeute für die Atomisierung der Injektionsflüssigkeit. Der maximale Energieausbeutewert wurde bei einer Gasgeschwindigkeit im Wäscherhals von 25–40 m/s und einer Berieselungsdichte von 2–4 dm³ Flüssigkeit/m³ Gas erreicht.

Den Staubabscheidungsprozess wir im Einzelmodul, wo die Abgase vom kokereigasbefeueren Wannenofen zur Bleiglasschmelze gereinigt wurde [4]. Der Staub war reich an Feinkörner (Bild 3) und zeichnete sich durch eine relativ schwache Benetzbarkeit aus. Die Staub/Flüssigkeit-Bindungsgeschwindigkeit* betrug durchschnittlich 110 mg/cm²s. Für gut benetzbaren Staub beträgt sie ungefähr 600–800 mg/cm²s.

Untersucht wurden zwei Injektionwäscher von Konstruktion C, die sich voneinander nur durch die Halslänge unterschieden. Das Halslänge/Halsbereite-Verhältnis betrug entsprechend 15 und 2. Bild 4 gibt die hydraulische Charakteris-

* Unter der Bezeichnung "Staub/Flüssigkeit-Bindungsgeschwindigkeit" verstehen wir die Flußdicke des Staubstromung der die Flüssigkeitoberfläche durchdringt [9].

tik des Einzelmoduls mit größerer Halslänge. Die Abhängigkeit des Staubabscheidegrades von der Gasgeschwindigkeit im Hals und von der Berieselungsdichte ist in Bild 5 vorgestellt.

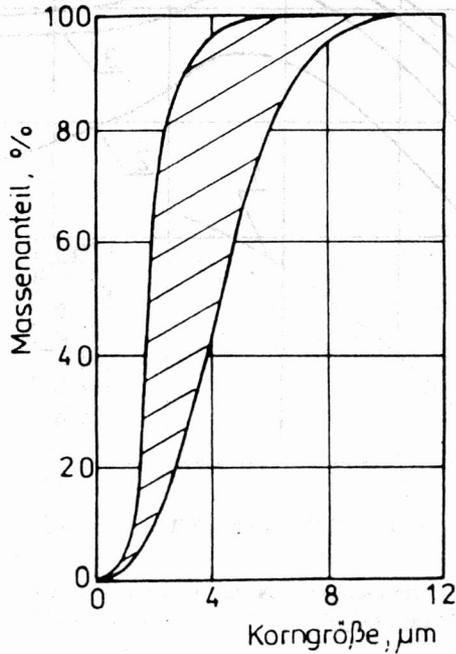


Bild 3. Kornzusammensetzung der Stäube vom Bleiglasschmelzofenabgas

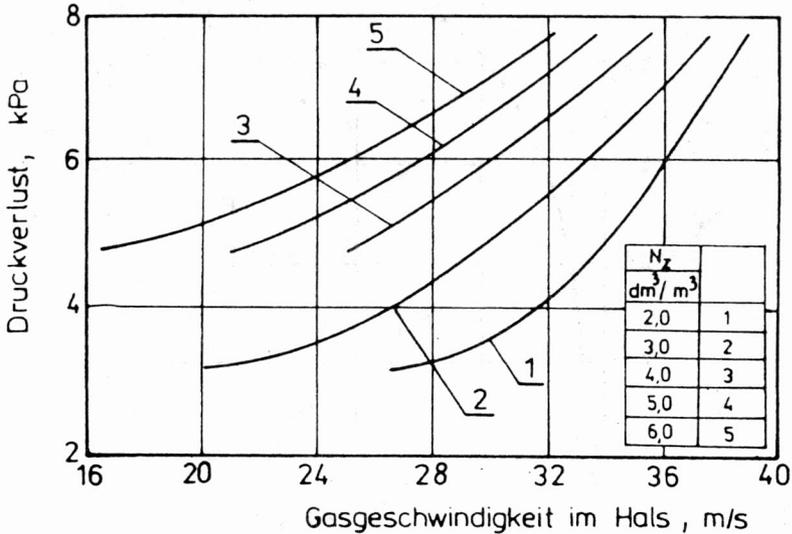


Bild 4. Hydraulische Charakteristik des Wäschers C

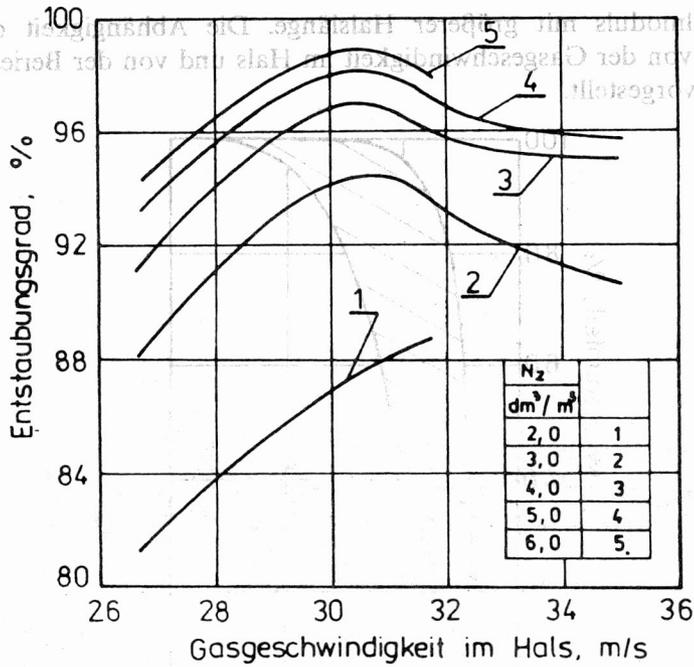


Bild 5. Abhängigkeit des Entstaubungsgrades im Wäscher C von der Gasgeschwindigkeit im Hals (v) und der Berieselungsdichte (N_z) für Abgase von Bleiglasschmelzöfen

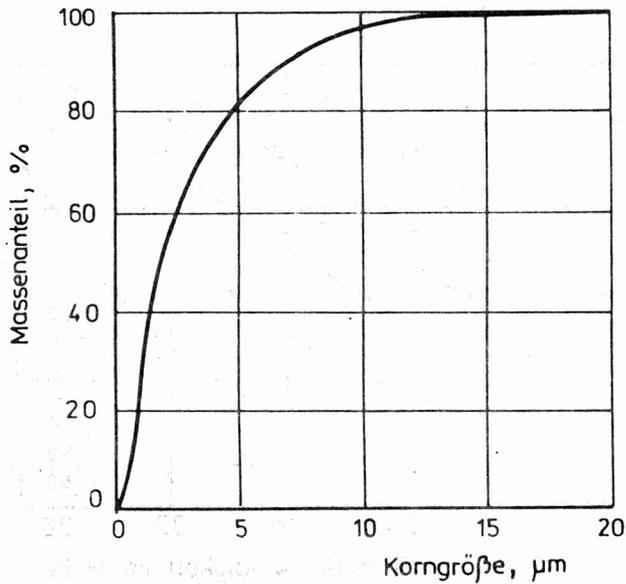


Bild 6. Kornzusammensetzung der Stäube von Glasschmelzöfen zur Glasfasererzeugung

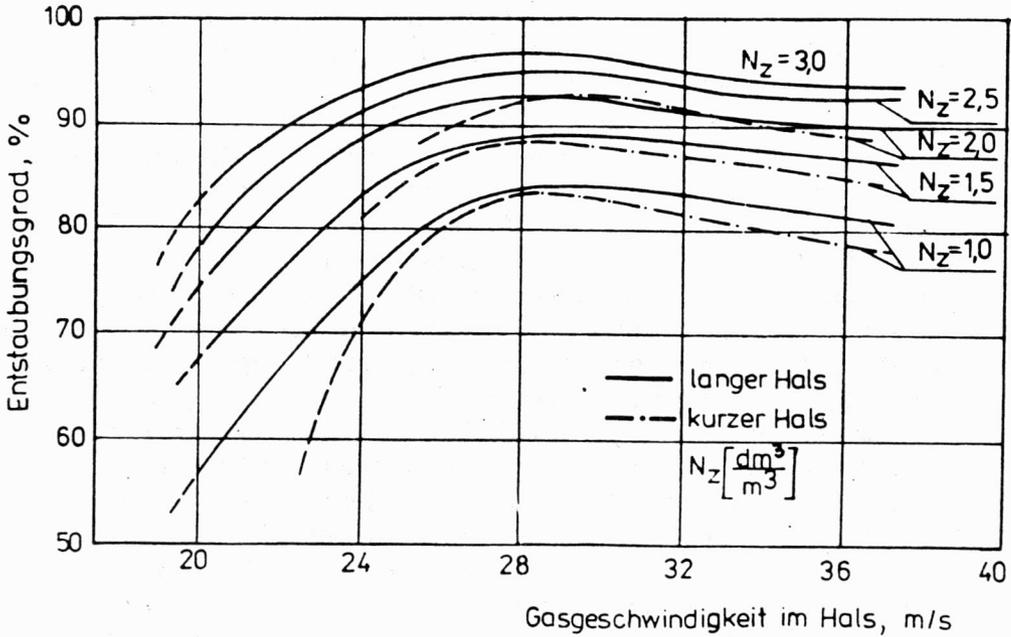


Bild 7. Abhängigkeit des Entstaubungsgrades im Wäscher C von der Gasgeschwindigkeit im Hals (v) und der Berieselungsdichte (N_z) für Abgase von Glasfasererzeugung

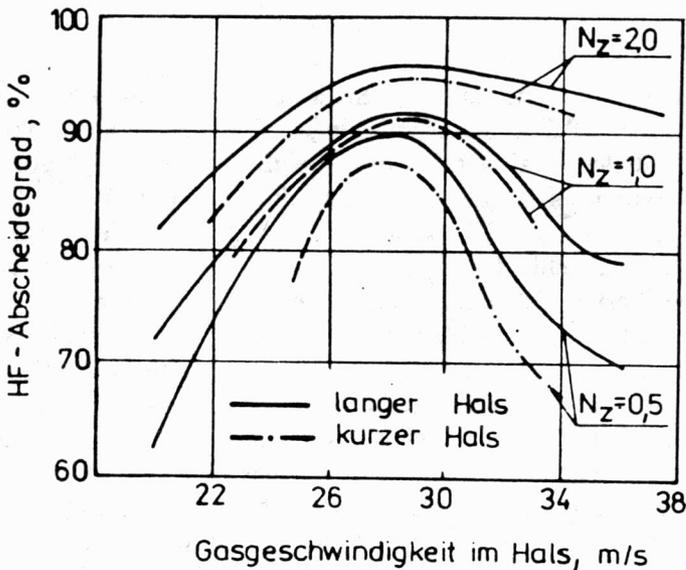


Bild 8. Abhängigkeit des Abscheidegrades für Fluorverbindungen im Wäscher C von Gasgeschwindigkeit im Hals (v) und der Berieselungsdichte (N_z) für Abgase von Glasfasererzeugung

Wie es aus diesen Ergebnissen zu entnehmen ist, beträgt der maximale Entstaubungsgrad 99,2% und wurde mit Gasgeschwindigkeit im Hals von 30–31 m/s und mit Berieselungsdichte von 6–8 dm³ Flüssigkeit/m³ Gas erzielt (die dabei entstandenen Gasdruckverluste beziffert sich auf 7,5 bis 8,0 kPa).

Der maximale Entstaubungsgrad im Wäscher mit kleinerer Halslänge war 98,2% und verlangte einer Gasgeschwindigkeit im Hals von 35 m/s und einer Berieselungsdichte von 2,5 dm³ Flüssigkeit/m³ Gas (Druckverluste betragen nur 6,2 kPa).

Den Wäscher C untersuchten wir zusätzlich im Einzelmodul, wo die Abgase von Glasschmelze zu der Erzeugung von Glasfasern gereinigt wurden [7]. Die Abgase stammen aus einem erdgasbefeuerten Wannenofen und hatten einen Staubgehalt von 900 mg/m³ (durchschnittlich ungefähr 100 mg/m³). Die Konzentration der Fluorverbindungen (umgerechnet in HF) erreichte den Wert 900 mg/m³ (durchschnittlich 150 mg/m³). Der Staub war sehr reich an Korngrößen unter 10 µm (98% – Bild 6). Die Abhängigkeit des Staub- und Fluorverbindungenabscheidegrades von den hydrodynamischen Parametern des Wäschers ist in Bild 7 und Bild 8 dargestellt. Die Maximalwerte des Abscheidegrades, die zwischen 95 und 96% oszillierten, wurden bei Gasgeschwindigkeit im Wäscherhals von 27–30 m/s und einer Berieselungsdichte von 2–3 dm³ Flüssigkeit/m³ Gas erzielt (die Gasdruckverluste im Abscheider fielen in den Bereich von 4,5–5,5 kPa).

3. ENTSTAUBUNG IM PULSIERFILTER

Zur Anwendung dieses Trockenverfahrens kann uns z.B. die notwendige Ausnützung eines karamischen Schornsteins aufzwingen. Diese Methode ist vor allem zum Abscheiden von feinteilchenhaltigen Stäuben geeignet und gestattet eine wirkungsvollere Schadstoffeffassung u.a. mittels Filtrierung durch Gewebefilter. Wir haben uns eines Filters bedient, um die Stäube aus dem Abgas vom kokereigasbefeuerten Wannenofen zur Bleiglasschmelze abzuscheiden [8]. Staubgehalt, Abgastemperatur und Taupunkt bezifferten sich entsprechend auf 340–700 mg/m³, 320–380°C und 65–70°C. Der Gehalt an Korngrößen unter 5 µm betrug ungefähr 85%.

Die Betriebsbedingungen für das Filter (Filtrationsgeschwindigkeit und Regenierungsmethode) bestimmten wir während eines Versuchsverfahrens im Einliterbeutel-Modul. Der Filterbeutel hatte eine Länge von 2,0 m und einen Durchmesser von 125 mm. Das Versuchsfiltersystem wurde mit Wärmeschutz und mit einer Vordurchwärmungseinrichtung ausgebeutet, um Wasserdampfkondensation während der Einarbeitung zu verhindern. Der Abgasstrom wurde im Wärmeaustauscher bis 120–140°C abgekühlt. Das Regenerieren des Filterstoffes verläuft in Preßluft bei veränderlichem Druck (0,39–0,56 MPa). Durchlüftung (Impuls) dauerte 1,5 bis 5 Sekunden und wurde jede 180 bis 700 Sekunden wiederholt. Filtrationsgeschwindigkeit oszillierte zwischen 29 und 60 mm/s.

Das Filtergewebe (PAN-Nadelfilz) gab einen maximalen Entstaubungsgrad von 97%. Die Endwerte des Staubgehaltes nach dem Reinigungsverfahren unter optimalen Regenerierungsbedingungen betragen durchschnittlich 16 mg/m^3 .

Es soll darauf hingewiesen werden, daß Filterstoffe von höherer Qualität das Abscheiden von Kleinteilchen, wie z.B. jene der Bleioxide, wesentlich steigern können.

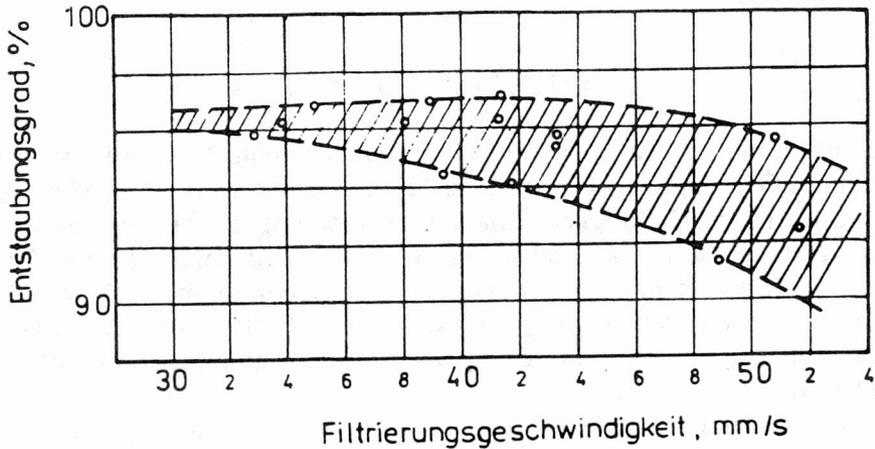


Bild 9. Abhängigkeit des Entstaubungsgrades von der Filtergeschwindigkeit

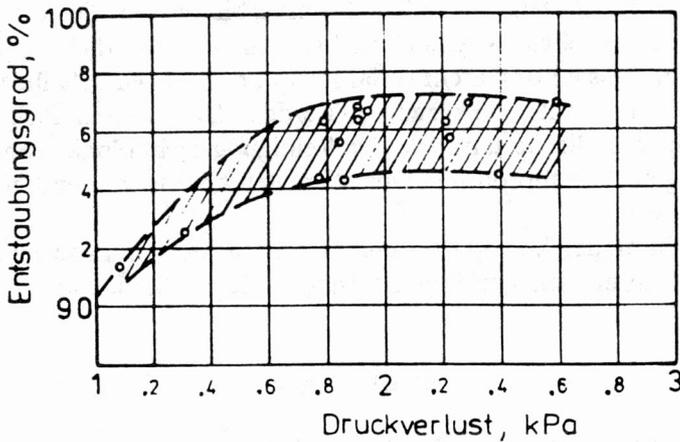


Bild 10. Abhängigkeit des Entstaubungsgrades vom Druckverlust im Filter

Bild 9 gibt die Abhängigkeit des Entstaubungsgrades von der Filtrationsgeschwindigkeit (für veränderliche Regenerierungsbedingungen und Anfangskonzentrationen). Wie es sich aus den Ergebnissen entnehmen läßt, werden hohe, stabile Abscheidegrade nur bei der Anwendung von niedrigen Filtrationsgeschwindigkeiten (30 mm/s und darunter) erzielt.

Die Untersuchung der Filtrationswiderstände (stark von der Filterstoffbelegung beeinflusst) bei veränderlichen Regenerierungsparametern (Bild 10) bei die Notwendigkeit einer hohen Belegung und einen hohen Durchflußwiderstandes (etwa 2 kPa) für die Verbesserung der Effektivität bestetigt. Die günstigsten Ergebnisse erzielt man bei häufigem, kurzdaurendem Regenerieren in Preßluft und mit Druckbereich von 0,45–0,55 kPa.

4. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Bei vielen industriellen Prozessen, z.B. bei Bleiglasschmelzen, entstehen luftfremde schädliche Gase und Stäube, deren Ausbreitung in die Umgebung bereits am Ort ihrer Entstehung durch geeignete Erfassungseinrichtungen verhindert werden muß. Ein optimaler Einsatz der notwendigen und verfügbaren Mittel für diese Maßnahmen und auch gezielte Energiesparungen setzen voraus, daß die Mechanismen der Entstehung und Verteilung der luftfremden Stoffe sowie die Eigenschaften von Abscheideeinrichtungen für den jeweiligen Anwendungsfall möglichst genau bekannt sind.

Unsere Forschungen haben gezeigt, daß der Einsatz von Injektionswäschern (Naßverfahren) und auch Pulsierfilter (Trockenverfahren) zu relativ hohem (95 bis 99%) Entstaubungsgrad der während der Bleiglasschmelze entstandenen Feinstaubteilchen führt. Injektionswäscher gestatten zusätzlich eine gute Absorption von sauern, gasförmigen Stoffen, von allem Fluorverbindungen. Da die im Naß- und Trockenverfahren erzielten Abscheideeffekte keinen wesentlich Unterschied aufweisen, kann der Einsatz des Trennverfahrens nur unter wirtschaftlichen und lokaltechnischen Gesichtspunkten ausgewertet werden. Das wirtschaftliche Auswahlkriterium soll nicht nur die Bestandteile der Reinigungstechnologie, sondern auch die Rückgewinnung der Abfallprodukte (vor allem der Abgasstrom enthaltenen Wärme) in Betracht ziehen.

Die Besprechung der Reinigungs- und Wärmerückgewinnungstechnologie, sowie die Auswertung ihrer Leistungsfähigkeit ist der Gegenstand anderer Aufsätze.

SCHRIFTTUM

- [1] KABSCH P., MELOCH H., *Staubabscheidungstechnologie für Glasofenabgase*, TU Wrocław, Berichte d. Institut für Umweltschutztechnik (IUT), SPR 34/73 (in polnischer Sprache).
- [2] MELOCH H., *Grundlegende Gedanken zum Konstruktionkonzept des Wäschers mit selbsttätigem Umlauf der Flüssigkeit (Anwendungsmöglichkeit in der Glasindustrie)*, TU Wrocław, Berichte d. IUT SPR 39/80.
- [3] MELOCH H., KNOP F., *Laborversuche über einen Wäscher zur Entstaubung und Sorption*, TU Wrocław, Berichte d. IUT SPR 40/81.
- [4] KABSCH P. et al., *Pilotmaßstabuntersuchungen der Staubabscheidungstechnologie mit Wärmerückgewinnung aus dem Abgase von Bleiglasherstellung*, TU Wrocław, Berichte d. IUT SPR 15/83.

- [5] KABSCH P., MELOCH H., MARCINIAK A., *Anwendung der Staubabscheidungstechnologie mit Wärmerückgewinnung aus dem Abgase von Bleiglasherstellung*, TU Wrocław, Berichte d. IUT SPR 10/84.
- [6] KABSCH P., MELOCH H., *Grundlegende Gedanken zur Reinigungstechnologie für die Abgase von Glasfaserherstellung*, TU Wrocław, Berichte d. IUT SPR 39/81.
- [7] GAWOR J.W., *Untersuchung des Reinigungsverfahrens für Abgase von Glasfaserherstellung*, TU Wrocław, Berichte d. IUT SPR 2/84.
- [8] KABSCH P. et al., *Technologie der Staubabscheidung von Glasschmelzwannen mit Wärmerückgewinnung für den Bedarf der Bleiglashütte*, TU Wrocław, Berichte d. IUT SPR 11/86.
- [9] GŁOWIAK B., KABSCH P., *Verfahren zur Bestimmung der Benetzbarkeit und Bedeutung der Untersuchungsergebnisse für Praxis*, Staub- Reinhalt. Luft, Nr. 1, 12, 1972.

BADANIA NAD OCZYSZCZANIEM GAZÓW ODLOTOWYCH Z PIECÓW SZKLARSKICH

Dobór odpowiednich metod i urządzeń do oczyszczania gazów powstających podczas topienia szkła, zwłaszcza ołowiowego, ciągle stanowi poważny problem. W artykule przedstawiono możliwość rozwiązania go dzięki zastosowaniu do oczyszczania tych gazów płuczek iniekcyjnych i filtrów pulsacyjnych. Opisano budowę płuczek oraz przedstawiono ich konstrukcyjne i eksploatacyjne zalety i wady. Scharakteryzowano warunki pracy i osiągnięte parametry badanych płuczek podczas oczyszczania w nich gazów z pieców wannowych. Przedstawiono wpływ warunków hydrodynamicznych na skuteczność odpylania i absorpcji zanieczyszczeń gazowych w iniekcyjnych płuczkach. Określono warunki pracy filtru pulsacyjnego w procesie oddzielania w nim pyłów powstających podczas topienia szkła ołowiowego.

TREATMENT OF FLUE GASES EMITTED FROM GLASS-FURNACES

The determination of adequate treatment for flue gases emitted by glass manufacturing plants raises serious problems. This study aimed at achieving the efficient separation effects when treating tank furnace gases in injection scrubbers and pulse filters. Consideration is given to the design of the injection scrubbers, as well as the advantages and disadvantages of using them. The technological requirements and parameters of the treatment of tank furnace gases, as well as the influence of the hydrodynamic conditions on the separation effects and on degree of absorption in the scrubber are determined. The paper also contains a brief discussion of the condition for tank furnace gas treatment with the use of a pulse filter. The results presented in this paper have been achieved during long term investigations (both on laboratory and full scales).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ИЗ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Подбор соответствующих методов и устройств для очистки газов, возникающих во время плавления стекла, особенно свинцового, все составляет серьезную проблему. В настоящей статье представлена возможность решения этой проблемы благодаря применению для очистки этих газов инъекционных скрубберов и пульсационных фильтров. Описана конструкция скрубберов, а также представлены их конструкционные и эксплуатационные положительные и отрицательные черты. Охарактеризованы условия работы и достигаемые параметры исследуемых скрубберов во время очистки в них газов из ваннных печей. Представлено влияние гидродинамических условий на эффективность обеспыливания и абсорбции газовых загрязнений в инъекционных скрубберах. Определены условия работы пульсационного фильтра в процессе разделения в нем пыли, образующихся во время плавления стекла.

