

DK 666.1.031.2:666.112.4:662.613.13:662.613.5:621.928.94:621.928.7

Erfahrungen mit der Abgasreinigung von Bleiglaswannen

Von Antonius Petrus Maria van Loon, Eindhoven (Niederlande)

(Vortrag vor dem Fachausschuß VI der DGG „Umweltschutz“ am 25. April 1979 in Düsseldorf)
(Mitteilung aus den N. V. Philips Gloeilampenfabrieken – Hoofd Industrie Groep Glas –, Eindhoven (Niederlande))

(Eingegangen am 13. September 1979)

Es bestand die Aufgabe, die Abgase einer Bleiglaswanne mit einer Tagesleistung von etwa 100 t Glas zu entstauben. Der Staubgehalt des Rohgases betrug 600 bis 700 mg/m³. Gefordert wurde ein Staubgehalt unter 20 mg/m³. Nachdem eine Naßbehandlung der Abgase wegen anfallender Wasserprobleme von vornherein ausschied, wurde ein Tuchfilter gewählt. Das Tuchfilter wurde später durch Filter mit Nadelfilz und Druckluftabreinigung verbessert. Der Abscheidegrad war sehr gut, die Standzeit des Nadelfilzes aber nicht ausreichend.

Im weiteren Verlauf wurde ein Elektrofilter erstellt, das nach einer japanischen Konstruktion zweistufig arbeitet. Die positiv geladenen Sprühelektroden besitzen hier die Form von Platten. Die Korona wird durch Nadeln an den Stirnseiten der Platten erzeugt. Man kann mit einem Elektrofilter Abgase mit höherer Temperatur als beim Tuchfilter entstauben und vermindert damit die Abgaskühlprobleme. Eine anschließende Wärmerückgewinnung ist möglich.

Das Elektrofilter hat sich bisher, was Arbeitsweise, Abscheidegrad, Energieverbrauch und Wartung anbelangt, gut bewährt.

Experiences of cleaning the flue gases of lead glass tanks

The problem was to clean the flue gases from a lead glass tank producing about 100 tons a day. The untreated flue gas contained around 600 to 700 mg/m³ of dust and it was required to reduce this to below 20 mg/m³. To avoid the problems inevitable in using water for wet treatment a cloth filter was used. The cloth filter was later replaced by a needled felt filter with compressed air cleaning. This gave a very good degree of separation but too short a life.

Further developments led to installation of an electrostatic precipitator, a two stage Japanese design. The positively charged dis-

charge electrodes are in the form of plates and the corona produced by needles at the rear and front sides of the plates. This type of filter can operate at much higher temperatures than the cloth filter thus reducing the problem of cooling the flue gas and improving the possibility to use the heat of the cleaned flue gases.

This filter has proved very satisfactory from the points of view of operation, efficiency of separation, energy consumption and maintenance.

Expériences acquises au cours de la purification des gaz de fumée de cuves de verre au plomb

On s'était fixé la tâche de dépoussiérer les gaz de fumée d'une cuve de verre au plomb ayant un débit journalier de 100 t. La teneur en poussières du gaz brut se situait entre 600 et 700 mg/m³. Le cahier des charges prescrivait une teneur en poussières inférieure à 20 mg/m³. Etant donné qu'un traitement par voie humide était exclu en raison des problèmes d'approvisionnement en eau, on a opté pour un filtre en tissu. Par la suite, on a apporté des modifications au filtre en tissu en utilisant du feutre aiguilleté et un système de décolmatage pneumatique. Le taux de séparation était excellent, mais la durée de vie du feutre a été jugée insuffisante.

Ensuite, on a utilisé un filtre électrostatique de précipitation à deux étages de conception japonaise équipé d'électrodes d'émission à charge positive ayant la forme de plaques. L'effet de couronne est produit par des aiguilles aux faces des plaques. Un filtre électrique permet de traiter des gaz de fumée plus chauds que le filtre en tissu, ce qui remédie aux problèmes de refroidissement des gaz et de récupérer la chaleur des gaz de fumée.

Le filtre électrique a donné satisfaction en ce qui concerne le mode opératoire, le degré de séparation, la consommation d'énergie et l'entretien.

1. Einleitung

Die Produktgruppe Glas des Philips-Konzerns stellt Glasprodukte (Halbfabrikate) für elektrische und elektronische Geräte her. In Anbetracht der großen Anzahl von Philips-Produkten bedeutet dies, daß dieser Produktbereich z. Z. über etwa 300 Glasrezepturen verfügt, die in vier Hauptgruppen eingeteilt werden können, und zwar: Kalk-Natronglas, Bariumglas, Bleiglas und Borosilicatglas.

Die vorliegende Arbeit berichtet über Erfahrungen, die auf dem Gebiet der Abgasreinigung großer Schmelzwannen beim Schmelzen von Bleiglas für Fernsehrohren gesammelt wurden. Allerdings reicht die bisherige Erfahrungszeit nicht aus, um einen umfassenden Überblick geben zu können.

2. Entwicklungsphasen der Abgasreinigung der Bleiglaswannen

Die Abgasreinigung war an drei Bleiglaswannen vorzunehmen, die folgende gemeinsame technische Merkmale aufweisen: 100 m² Schmelzfläche, regenerativ mit Gas beheizt, durchschnittliche Tagesproduktion 90 bis 100 t Glas. Stündlich wurden rund 25 000 m³ Abgas (im Normzustand), die bleihaltigen Staub in einer Konzentration von 600 bis 700 mg/m³ Abgas enthielten, durch einen 50 m hohen Kamin abgeführt. Der Bleigehalt im Staub (als Pb) beträgt etwa 70 %. Die Korngröße des Staubes liegt unter 2 µm, wie Messungen gezeigt haben. Bild 1 zeigt schematisch eine regenerativ beheizte Glasschmelzwanne mit einer Filterabreinigungsanlage.

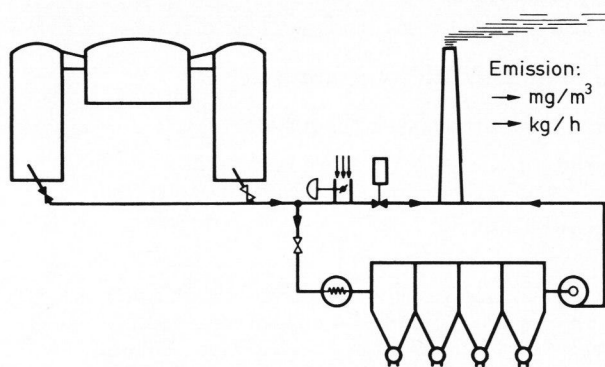


Bild 1. Schematische Darstellung einer regenerativ beheizten Glasschmelzanlage mit Filterabgasreinigungsanlage.

Die internationale Gesetzgebung geht bei der Bleiemission von einem Grenzwert von 20 mg Blei/m^3 Abgas aus. Verfahrenstechnische Maßnahmen sind für eine Reduzierung der hohen Staubemission unter diesen Grenzwert indiskutabel. Das bedeutet, daß eine Abgasreinigung mit einem Abscheidegrad von über 97 % erforderlich ist. In Anbetracht der Staubfeinheit wurden daher drei Systeme untersucht, und zwar: Gewebefilter, Elektrofilter und Venturiwäscher. Da es sich in erster Linie um Staub und nicht um gasförmige Verunreinigungen handelt, wurde das Trockenverfahren der Naßabscheidung vorgezogen. Die Nachteile eines Naßsystems sind: das Luftproblem wird zum Wasserproblem, ein hoher Energieverbrauch, die mögliche Lärmbelästigung, eine sichtbare Rauchfahne und Korrosionsprobleme. Das Trockenverfahren hat darüber hinaus zwei weitere Vorteile. Zum einen ermöglicht die höhere Betriebstemperatur den Einsatz eines Wärmeaustauschers und zum anderen bleibt der Kamin warm, so daß in Notfällen noch genügend natürlicher Zug vorhanden ist, um die ungereinigten Abgase direkt zum Kamin abführen zu können.

Die Abgasreinigung der Bleiglaswannen wurde 1972 in Angriff genommen. Eine erste Überprüfung der in Frage kommenden Abgasreinigungssysteme ergab, daß nur wenig Erfahrung mit der Abscheidung von sehr feinem Bleistaub vorlag. Für die Abgasreinigung der ersten Bleiglaswanne wurde 1973 schließlich ein System mit einem Wärmetauscher und mit Filterschläuchen aus Nomex-Tuchmaterial in Betrieb genommen. Für diese Entscheidung waren folgende Kriterien maßgebend: Abscheidegrad, Betriebstemperatur, Recycling, Druckverlust, Kühlen der Abgase, Eigenschaft der Stäube, Flexibilität (Glas-Brennstoff), Investitionskosten, Wartungskosten, Energieverbrauch, Raumbedarf.

Als für 1974 an einer weiteren Bleiglaswanne eine Abgasreinigungsanlage zu installieren war, standen Anlagen mit Gewebefiltern, hier unter anderem Taschenfilter, dazu Naßwäscher und Elektrofilter zur Diskussion. Mit einem Naßwäscher sowie mit einem Elektrofilter wurden dabei Pilotversuche durchgeführt. Es zeigte sich, daß nach wie vor die Hersteller von Abgasreinigungsanlagen nur über wenig Erfahrung beim Abscheiden von

feinem Bleistaub verfügten. Positiv war aber, daß inzwischen Verbesserungen und Neuentwicklungen bezüglich des Gewebematerials, der Filteraufhängung und der Filterabreinigungssysteme vorlagen. So wurde auch in diesem Fall eine Anlage mit der Kombination Wärmetauscher – Gewebefilter gebaut, wobei die Filter jedoch mit Nomex-Nadelfilz und Druckluftabreinigung ausgerüstet wurden. Diese Anlage ist weitaus kompakter; sie wurde 1974 in Betrieb genommen.

Auf Grund des geplanten Baus einer dritten Bleiglaswanne für die Herstellung von Fernschröhren wurde 1976 beschlossen, auch für diese Wanne eine Abgasreinigungsanlage zu bauen. Inzwischen war man aber zu der Überzeugung gekommen, daß die Abgaskühlung durch Wärmetauscher nicht ideal ist und daß die Abgasreinigung mit Gewebefiltern zwar einen hervorragenden Abscheidegrad erreicht, aber daß die Lebensdauer des Materials zu kurz ist.

Bei den bereits genannten Pilotversuchen mit Elektrofiltern hatte sich gezeigt, daß der Bleistaub mit Elektrofiltern nach dem Cottrell-Prinzip gut abgeschieden werden konnte; der Abscheidegrad blieb aber deutlich unter den erforderlichen 97 %. Da der Bleistaub sich außerdem nur durch Fegen oder Waschen von den Elektroden entfernen ließ, wurde dieses System verworfen. Aus den USA lagen allerdings seit 1974 Berichte vor, daß mit einem neu entwickelten Elektrofiltertyp ein hoher Abscheidegrad bei geringem Kostenaufwand erreicht würde. Die Besichtigung mehrerer Anlagen dieses Typs führte dazu, daß 1978 mit der dritten Bleiglaswanne ein Elektrofilter dieser Bauart mit in Betrieb genommen wurde. Für diese Anlage sprechen folgende Punkte:

- Das Verfahren ist ein Trockenverfahren, d. h. die Abwasserbehandlung entfällt.
- Die Filterschläuche entfallen und damit: die nicht vorhersagbare Lebensdauer, die Anordnungsprobleme bei den Filterschläuchen, der – auf Grund des Staubes – schwierige Filterwechsel sowie die gegebenenfalls erforderlichen Zuschlagstoffe zum Schutz des Filtermaterials.
- Es wird – wie erforderlich – ein Abscheidegrad von über 97 % erreicht.
- Der Energieverbrauch ist gering.
- Die Wartungskosten sind niedrig.
- Die Betriebstemperatur ist so hoch, daß keine Taupunktprobleme auftreten. Die Rauchfahne ist nicht sichtbar, und außerdem ist dadurch für Notfälle noch ein ausreichender Zug im Schornstein vorhanden.
- Die Verdampfungskühlung ist im Vergleich zum Wärmetauscher billiger und bietet die Möglichkeit einer chemischen Behandlung der Abgase.

3. Beschreibung der Abgasreinigungsanlagen

In allen drei Abgasreinigungsanlagen wird der vom Gesetzgeber geforderte Grenzwert unterschritten. Die Gewebefilter der beiden Schlauchfilteranlagen haben je-

Tabelle 1. Betriebsdaten der Abgasreinigung der Bleiglaswannen

Abgasreinigung mit	Schlauchfilter		Elektrofilter
	Rütteln	Druckluftstöße	Klopfen
Filterabreinigung durch			
in Betrieb seit	Januar 1973	Februar 1974	März 1978
Abgasvolumenstrom ¹⁾ in m ³ /h	30 000	25 000	30 000
Betriebstemperatur in °C	190	170	260
Anzahl der Schlauchfilter	7 × 180	4 × 80	—
Größe der Schlauchfilter (Länge × Durchmesser) in mm	3 200 × 140	2 800 × 135	—
Filterfläche in m ²	1 620	352	3 000
Filterflächenbelastung (effektiv) in m ³ /(m ² min)	0,6	1,89	0,41
Material der Schlauchfilter	Nomex-Gewebe	Nomex-Nadelfilz	—
Kühlsystem	Wärmeaustauscher	Wärmeaustauscher	Verdampfungskühler
Platzbedarf (nur für die Filter) in m ²	88	34	75
Staubmassenstrom im Rohgas in kg/h	15	15	17
Staubkonzentration im Reingas ¹⁾ in mg/m ³	< 20	< 20	< 20
Druckverlust im System in mbar	25	28	12
installierte elektrische Leistung in kW	156	190	85

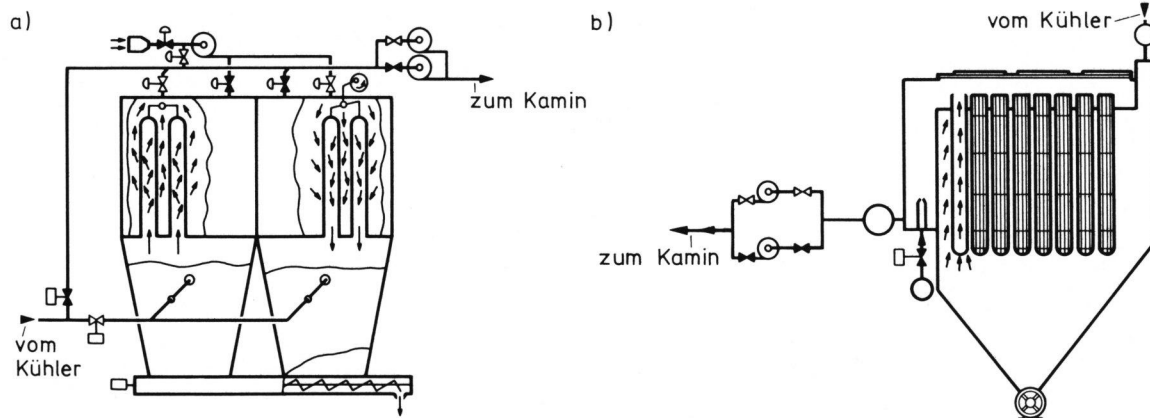
¹⁾ Diese m³-Angaben beziehen sich auf den Normzustand.

doch im Vergleich zum Elektrofilter nur eine beschränkte Lebensdauer, da im Gewebe schon bald Leckagen auftreten. Der Abscheidegrad eines Elektrofilters bleibt dagegen länger stabil. In Tabelle 1 sind die wichtigsten technischen Daten der drei Anlagen aufgeführt.

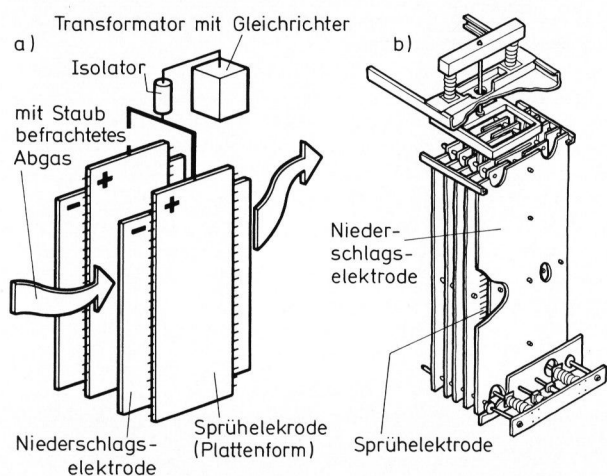
Bei der ersten Anlage besteht der Wärmetauscher aus drei parallelen Doppelröhren. Das zu kühlende Abgas strömt durch die Innenleitung, die Kühlluft durch die Außenröhre. Der erste Teil des Kühlers wird im Gleichstrom, der zweite im Gegenstrom gefahren. Die Filteranlage besteht aus sieben Kammern mit je 180 Schlauchfiltern aus Nomex-Tuch. Die Filterfläche beträgt insgesamt 1620 m². Der Staub wird an der Innenseite der Filterschläuche abgeschieden (Bild 2a). Die Filter werden Kammer für Kammer durch Rütteln und Rückblasen mit vorgewärmter Luft oder mit gereinigtem Abgas gereinigt. Die zu reinigende Kammer darf während der Reinigung nicht vom Abgasstrom beaufschlagt werden. Während der ersten Zeit der Abgasreinigung wurde die Glaswanne noch mit Öl beheizt. Dabei

wurde festgestellt, daß zum Schutz des Nomex-Tuchmaterials der Einsatz von Zuschlagstoffen notwendig ist, wodurch die Wiederverwendung des abgeschiedenen Staubes problematisch werden kann. Es wurde mit verschiedenen Zuschlagstoffen experimentiert, um eine akzeptable Lebensdauer für das Tuchmaterial zu erreichen; die Ergebnisse waren unbefriedigend. Seitdem die Glasschmelzwanne mit Erdgas beheizt wird, beträgt die Lebensdauer der Filter etwa neun Monate.

Auch bei der zweiten Abgasreinigungsanlage ist das Hauptproblem die zu kurze Lebensdauer des Gewebematerials. Die Bauweise ist kompakter, wie der wesentlich geringere Platzbedarf gegenüber dem ersten Typ zeigt (Tabelle 1). Die Anlage besteht aus vier parallelschalteten Einheiten mit einer Gesamtfilterfläche von 352 m². Jede Einheit enthält 80 Filterschläuche in zehn Reihen zu je acht. Ein Unterschied im Vergleich zum ersten Anlagentyp besteht darin, daß die Abgase von außen in die Schläuche einströmen und der Staub sich an der Außenseite des Gewebes absetzt (Bild 2b). Das



Bilder 2a und b. Schematische Darstellung der Abgasreinigung mit Filterschläuchen; a) Abscheidung des Staubes an der Innenseite der Filterschläuche; b) Abscheidung des Staubes an der Außenseite der Filterschläuche.



Säuretaupunkt zu unterschreiten, kleiner sind. Ein Nachteil ist jedoch der größere Abgasvolumenstrom.

Die Abgasreinigung mit dem neu entwickelten Elektrofiltertyp unterscheidet sich nur wenig von der mit dem herkömmlichen Filter nach dem Cottrell-Prinzip. Mit einem Gleichstrom hoher Spannung wird an einer Elektrode eine Sprüh- oder Spitzentladung (Korona) erzeugt, wodurch die Staubteilchen elektrisch aufgeladen werden. Die Staubteilchen setzen sich unter dem Einfluß des elektrischen Feldes auf den Elektroden ab. Der Staub wird durch Klopfen von den Elektroden entfernt und schließlich über Zellenradschleusen nach außen abtransportiert.

Die Abgasreinigung mit dem Elektrofilter kann in drei Phasen unterteilt werden: a) elektrisches Aufladen der Staubpartikel, b) Transport der geladenen Teilchen zur Niederschlagselektrode, c) Abtransport der abgeschiedenen Stäube. Das Cottrell-Filter ist ein Einstufenfilter, der neue Typ dagegen ein Zweistufenfilter. In einem Einstufenfilter finden sowohl Phase a) als auch Phase b) in einem stark inhomogenen Feld um die Sprühelektrode statt. Bei einem Zweistufenfilter läuft die Phase a) in einem inhomogenen Feld (Reaktionsvolumen) ab, während die Phase b) in einem homogenen elektrischen Feld (Stabilisationsvolumen) stattfindet. Im vorliegenden Fall besteht ein charakteristischer Unterschied zwischen dem neuen Elektrofiltertyp (Bilder 3a und b) und dem Cottrell-Filter: Der neue Typ hat eine positiv geladene Sprühelektrode in Plattenform im Gegensatz zur negativ geladenen Sprühelektrode in Drahtform beim Cottrell-Filter. Auf der Vorder- und der Rückseite dieser Platten befindet sich eine Anzahl sehr spitzer Nadeln, die lokal das sehr stark inhomogene elektrische Feld erzeugen. Die Korona an der Spitze dieser Nadeln ist intensiver

Bilder 3a und b. Neu entwickelter Elektrofiltertyp mit positiv geladener Sprühelektrode in Plattenform; a) schematische Darstellung, b) Bauelement.

Reinigen der Filterschläuche erfolgt durch einen Druckluftstoß, mit dem je acht Schläuche (eine Reihe) gleichzeitig abgereinigt werden.

Die dritte Abgasreinigungsanlage beruht auf dem Prinzip der elektrostatischen Abscheidung; die Abgasreinigung wird also nicht über Filter, sondern mit elektrischer Energie durchgeführt. Als Kühlvorrichtung wurde ein Wasserverdampfungssystem gewählt. Ist für die vorher beschriebenen Gewebefilter die Betriebstemperatur sowohl nach oben als auch nach unten begrenzt, so kann mit einem Elektrofilter auf einem weitaus höheren Temperaturniveau gearbeitet werden. Dies ist vorteilhaft, weil das Kühlproblem geringer und die Gefahr, den

Tabelle 2. Ergebnisse der Abgasreinigung einer Bleiglaswanne mit dem Elektrofilter²⁾

	Input		Abgasvolumenstrom in m ³ /h bezogen auf 8 % O ₂		Abgasvolumenstrom in m ³ /h Istzustand ³⁾			Staubkonzentration im Reingas	
	Staubmassenstrom in kg/h	Erdgas in m ³ /h	trocken	naß	trocken	naß	im Betriebszustand bei 260 °C	vom Hersteller garantiert 20 mg/m ³	von Philips gefordert 25 mg/m ³
Auslegung (Entwurf) der Anlage	max.	16	2 100	30 200	29 500	37 200	73 000	0,53	
	min.	16	1 620	22 900	23 000	29 900	58 400	0,32	
für den Normalbetrieb geforderte Werte	max.	16	1 800	25 500	29 800	37 000	72 000		0,56
	min.	16	1 200	17 000	27 900	29 900	58 400		0,38
gemessen	14,6	1 340	16 900	19 250	26 400	29 950	63 000	weniger als 0,3 kg/h oder 10 mg/m ³	

²⁾ Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich alle m³-Angaben auf den Normzustand.

³⁾ Einschließlich Leck-, Prozeßluft und Wasserdampf.

Tabelle 3. Investitions- und Betriebskosten der Abgasreinigungsanlagen⁴⁾

Abgasreinigung mit Filterabreinigung durch	Schlauchfilter Druckluftstöße	Elektrofilter Klopfen
<u>Investitionskosten</u>		
Kosten in hfl/(t Glas/a)	36,36	59,46
Kosten in hfl/(m ³ Abgas/h)	30,00	30,15
<u>Betriebskosten (ohne Recycling- und Kapitalkosten)</u>		
Energieverbrauch		
Kosten für elektrische Energie in hfl	100 kWh: 97 000	60 kWh: 59 000
Kosten für Druckluft in hfl	150 m ³ /h: 46 500	60 m ³ /h: 18 500
Kosten für Wasser in hfl	—	1 m ³ /h: 7 500
Kosten für Schlauchfilter in hfl	60 000	—
	2 500	
Wartungskosten in hfl	40 000	30 000
	<u>246 000</u>	<u>115 000</u>
Kosten in hfl/(t Glas/a)	7,45	3,11
Kosten in hfl/(m ³ Abgas/h)	6,15	1,57

⁴⁾ m³ = Abgas im Betriebszustand; hfl = holländische Gulden.

als die bei den Drähten des Cottrell-Filters. Obwohl die Nadeln verunreinigt werden, bleiben die Spitzen in der Praxis sauber und damit die Korona stabil. Infolgedessen müssen die Elektroden nicht so oft geklopft werden; damit verringert sich der Verschleiß, und es gelangt weniger Staub in das Reingas. Zur Erzeugung einer Korona benötigen der neue Elektrofiltertyp nur 20 bis 30 kV, das Cottrell-Filter 50 kV. Außerdem ist zu erwähnen, daß der Abstand zwischen den Elektroden nur 10 gegenüber 15 cm beim herkömmlichen Filtertyp beträgt.

4. Erfahrungen

Für den neuen Elektrofiltertyp liegt nur eine sehr beschränkte Anzahl an Meßdaten vor, die aber alle posi-

tiv sind (Tabelle 2). Um die Stabilität des Abscheidegrades unter variierenden Betriebsbedingungen zu untersuchen, sind sicher mehr Messungen erforderlich. Auch für die Erfassung der Kostenseite ist die Erfahrungszeit sicher noch zu kurz. Trotzdem ist an Hand der verfügbaren Daten eine Abschätzung der Kosten durchgeführt worden; Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der Investitionskosten und der jährlich anfallenden Kosten, aber ohne Recycling- und Kapitalkosten.

An Hand der vorliegenden Erfahrungen läßt sich feststellen, daß die Arbeitsweise des neuen Elektrofiltertyps in bezug auf Abscheidegrad, Überwachung, Energieverbrauch und Wartung den Erwartungen entsprechen hat.