

VERLAG UND SCHRIFTFLEITUNG: BAUVERLAG GMBH., WIESBADEN, WITTELSBACHERSTRASSE 10
TELEFON: 7 49 51, FERNSCHREIBER: 04-186 792, HERAUSGEBER: MICHAEL SCHIRMER, WIESBADEN

Dok.-Nr. 10526

Elektrofilteranlagen für große Zementdrehöfen

Electrostatic precipitators for large rotary cement kilns

Electrofiltres pour grands fours rotatifs à ciment

Von K. Arras, Frankfurt/Main

Zusammenfassung

Die zahlreichen in diesem Jahrzehnt gebauten Großanlagen in der Zementindustrie mit Leistungen über 3000 t/d verlangten auch von den Elektrofiltern erhöhte Durchsätze. Hinzu kamen gleichzeitig höhere Anforderungen an den Entstaubungsgrad und an die Verfügbarkeit des Filters. — Die Arbeit behandelt zunächst die Einflußgrößen (Niederschlagselektroden, Sprühsystem, Gassenabstand, Rohgasstaubgehalt, Bypass-Strömungen und Hochspannungsaggregate) auf die Filterauslegung. Danach werden Ausführungsbeispiele an Drehöfen mit Planetenkühler und Rostkühler beschrieben.

Summary (Complete English translation in ZKG 8/1976)

The numerous large installations in the cement industry, with outputs in excess of 3000 t/day, which have been built in the present decade require high throughputs from the electrostatic precipitators too. In addition, more stringent demands have been made upon the dust collecting efficiency and on the operational availability of the precipitators. — This article deals first with the factors affecting precipitator design (collecting electrodes, discharge system, spacing of passages, raw gas dust content, bypass flows, and high-tension equipment). Examples of actual precipitators operating in conjunction with rotary kilns equipped with planetary coolers and grate coolers are then described.

Résumé

Les grandes installations à 3000 t/jour construites lors de cette décennie pour l'industrie cimentière ont demandé des débits accrus aux électrofiltres, à quoi se sont simultanément ajoutées des exigences plus élevées quant au degré de dépoussiérage et à la capacité des filtres. L'article traite d'abord des influences (électrodes de précipitation, système de pulvérisation, écartement des voies, teneur des poussières en gaz brut, courants de dérivation et ensembles de haute tension) s'exerçant sur le dimensionnement des filtres. On décrit ensuite des installations sur fours rotatifs avec refroidisseur planétaire et refroidisseur à grille.

1. Einleitung

Anfang dieses Jahrzehnts wurden in der Bundesrepublik Deutschland eine Vielzahl neuer Großanlagen zur Zementproduktion mit Leistungen von mindestens 3000

t/24 h gebaut. Bis auf zwei Ausnahmen wird der Klinker in Wärmetauscheröfen mit Planetenkühlern gebrannt, wobei der Wärmeinhalt der Drehofengase zur Trocknung des Rohmaterials ausgenutzt wird. Es sind daher vorwiegend Mühlensysteme eingesetzt, denen das gesamte Ofenabgas zugeführt werden kann.

Die für die Entstaubung der Öfen und Mühlen ausschließlich verwendeten trocken arbeitenden Elektrofilter mußten auf die besonderen Betriebsverhältnisse und die erheblich höheren Anforderungen an den Entstaubungsgrad ausgerichtet werden.

Außerdem spielte die Frage der Verfügbarkeit und die der Einhaltung des geforderten Entstaubungsgrades unter allen Betriebszuständen, auch noch nach mehreren Jahren (nicht nur während der Abnahmemessungen) eine besondere Rolle.

2. Einflußgrößen bei der Elektrofilterauslegung

Bei der Dimensionierung und konstruktiven Ausbildung der Elektrofilter mußten im wesentlichen folgende Einflüsse beachtet werden:

- Die großen Gasmengen, die sich aufgrund der großen Leistungen der Produktionsaggregate ergeben. Hier stießen die Elektrofilter in eine Größenordnung vor, die bis dahin nur anderen Einsatzgebieten vorbehalten war, z. B. der Kraftwerksentstaubung, der Reinigung von Sintergasen etc.
- Der sich durch den Einsatz von Walzenschüsselmühlen ergebende sehr hohe Rohgasstaubgehalt.
- Die aufgrund der neuesten Umweltgesetzgebung geforderten außergewöhnlich niedrigen Reingasstaubgehalte, die gleichzeitig durch optische Überwachungsgeräte im Dauerbetrieb nachzuweisen waren.

2.1 Niederschlagselektroden

Als Folge der Vergrößerung der Abgasmengen und der gleichzeitigen Erhöhung der Entstaubungsgrade gelangen auch in der Zementindustrie immer größere Elektrofilter zum Einsatz. Da erfahrungsgemäß die Gasgeschwindigkeit nicht beliebig hoch gewählt werden darf, die Elektrofilterbreite aber meistens durch bauliche Gegebenheiten begrenzt ist, ergeben sich zwangsläufig größere Felddhöhen. So wurde die Felddhöhe der Elektrofilter in den letzten Jahren von 6 auf 13,5 m gesteigert. Die ursprüngliche Befürchtung, daß sich die spezifische Abscheideleistung durch die längeren Staubfallwege vom Oberteil der Platten bis in den Bunker verschlechtern

würde, hat sich, wie der Betrieb einer großen Zahl von Filtern mit Feldhöhen von 12 und 13,5 m gezeigt hat, nicht bestätigt.

Die heute verwendeten Niederschlags Elektroden bestehen im allgemeinen aus gewalzten Blechen. Das Profil einer solchen Platte zeigt Bild 1. Es ist so gestaltet, daß von der Gasströmung unbeeinflusste Toträume entstehen, die verhindern, daß einmal an der Platte elektrisch abgeschiedener Staub wieder in das Gas zurückgelangen kann.

Bei großen Feldhöhen empfiehlt sich aus Stabilitätsgründen ein Verhaken der einzelnen Platten. Außerdem muß sichergestellt sein, daß an den Platten keine abnormalen Verschmutzungen auftreten. Die hierzu notwendige Erschütterung der Platten wird durch rotierende Hämmer hervorgerufen, die gegen die in Klopfstangen befestigten Plattenfüße fallen. Die Art der Befestigung spielt für den Klopf effekt eine beträchtliche Rolle.

Bild 2 zeigt die Verteilung der Klopfintensität bei 15 m Plattenhöhe und einer extremen Feldlänge von 5,76 m(!). Es zeigt, daß selbst an der ungünstigsten Stelle noch Beschleunigungswerte erreicht werden, die beträchtlich über 100 g, dem erfahrungsmäßig notwendigen Minimalwert, liegen.

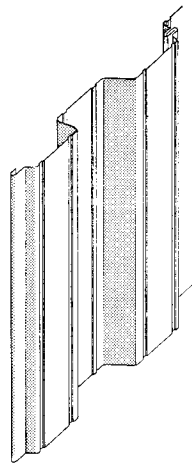


Bild 1: Niederschlags elektrode „CSV“
‘CSV’ collecting electrode

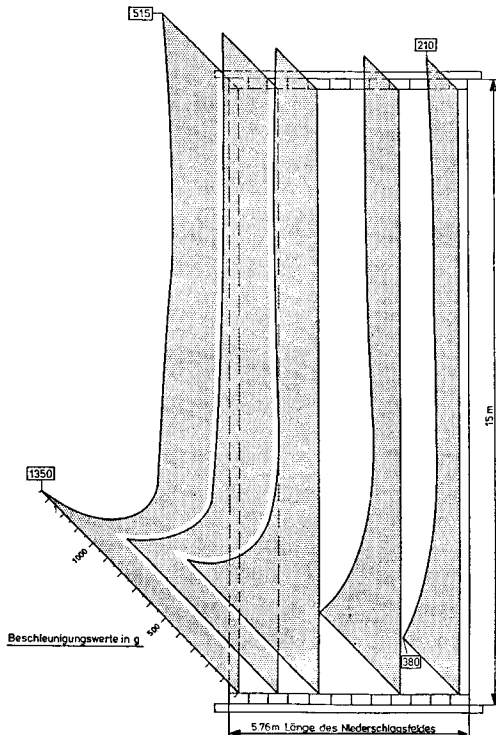


Bild 2: Schwingungsmessungen an 15 m langen CSV-Elektroden
Vibration measurements on 15 m long CSV electrodes

2.2 Sprühsystem

Die Sprühelektroden müssen, selbst bei den günstigen Abgasverhältnissen im Mühlenbetrieb, wegen der stromdämpfend wirkenden hohen Staubbelastung des Gases eine ausreichend gute Sprühwirkung besitzen. Aus Gründen der Verfügbarkeit muß sichergestellt sein, daß keine Drahtbrüche auftreten, was durch das Einschweißen der Bandlektroden in Sprühhahmen gewährleistet ist. Bild 3 zeigt einen solchen Sprühhahmen, wie er sich seit Jahrzehnten bewährt hat.

2.3 Gassenabstand

Für den erreichbaren Abscheidegrad ist der kleinste Abstand zwischen Draht und Platte maßgebend. Das bedeutet, daß die Toleranzen in bezug auf Fertigung und Montage um so kleiner sein müssen, je kleiner der Gassenabstand, d. h. der Abstand zwischen den Niederschlags elektroden ist. Eine Vergrößerung des Gassenabstandes bringt also in jedem Fall eine Erleichterung bei Zusammenbau und Montage.

Die Frage der Abhängigkeit der spezifischen Abscheideleistung vom Gassenabstand, der bis Ende der 60-iger Jahre in der Größenordnung von 250 mm lag, wurde daher in mehreren Versuchsreihen mit Versuchselektrofiltern überprüft. Es konnte durch diese Versuche nachgewiesen werden, daß die spezifische Abscheideleistung, also die Wanderungsgeschwindigkeit, mit zunehmendem Gassenabstand ebenfalls zunimmt.

Durch eine Vielzahl von Betriebsanlagen ist mittlerweile eindeutig erwiesen, daß eine lineare Abhängigkeit bis zu einem Gassenabstand von 300 mm gegeben ist. Deshalb sind auch seit Anfang der 70iger Jahre die Elektrofilter der führenden Hersteller mit Gassenabständen von 300 mm ausgerüstet. Es ist jedoch fraglich, ob mit diesem Gassenabstand bereits das Optimum erreicht ist. Diese Frage wird z. Zt. untersucht; es besteht einige Aussicht, daß noch größere Gassenabstände realisierbar sind. Hierdurch könnten die Kosten für die Innenausrüstung der Elektrofilter gesenkt werden bei steigendem Aufwand für die Hochspannungsanlage, infolge der dann erforderlichen höheren Spannungen.

2.4 Rohgasstaubgehalt

Um die hohe Staubkonzentration der Abgase zu verringern, hat man früher dem Elektrofilter Zyklone vorgeschaltet. Die Vorabscheidung durch Zykclone wirkt jedoch selektiv, d. h. nur die feinen Kornfraktionen gelangen in das Elektrofilter, wodurch sich die elektrostatische Ab-

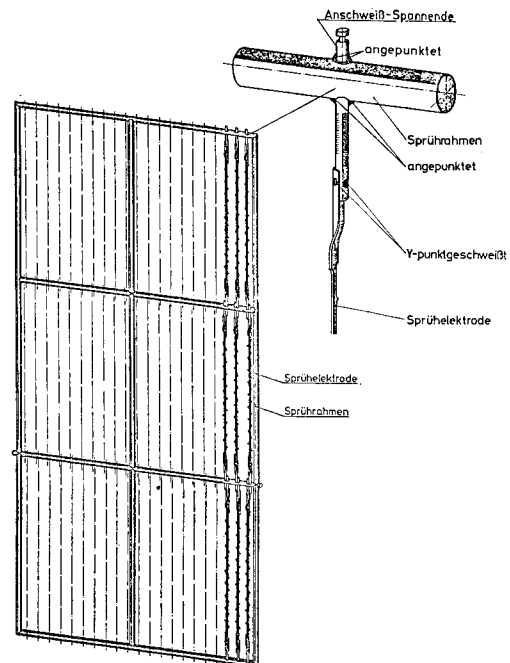


Bild 3: Sprühhahmen mit B5-Elektrode
Discharge frame with B 5 electrode

scheidefähigkeit vermindert, was eine spezifisch größere Auslegung des Elektrofilters erfordert. Diese Erkenntnis führte zur Entwicklung des Jalousievorabscheiders¹⁾ wie er auf Bild 4 dargestellt ist.

Der Jalousievorabscheider ist im Eintrittsstutzen des Horizontalfilters angeordnet und erfordert einen Gaseintritt von oben. Das staubbeladene Abgas erfährt beim Durchtritt durch die Jalousiewand zunächst eine scharfe Umlenkung nach oben und dann eine weitere Richtungsänderung, wobei die Abströmung annähernd horizontal verläuft. Die Abscheidung erfolgt bei dieser zweimaligen Umlenkung durch den Aufprall des Staubes auf die sich ihm entgegenstellenden Flächen der Jalousiewand. Der Jalousievorabscheider ist noch eine Lochblechwand nachgeschaltet. Der Staub, der durch die Prallwirkung ausfällt, wird über einen separaten Vorbunker abgezogen.

Frühere Messungen an Betriebsanlagen haben gezeigt, daß der Jalousievorabscheider nicht selektiv wirkt, d. h. daß alle Fraktionen fast gleichmäßig gut abgeschieden werden. Ein ebenfalls positiver Effekt ist die sich in Verbindung mit der Lochblechwand einstellende gute Gasverteilung. Der Druckverlust der Jalousiewand ist mit ca. 25 mm WS sehr niedrig. An den bereits seit über zehn Jahren im Einsatz befindlichen Jalousieabscheidern konnten Abscheidegrade bis 80% ermittelt werden, wobei eine Abhängigkeit von der Filterhöhe und vom Schüttgewicht des abzuschheidenden Staubes besteht.

Wegen der großen Gasmengen muß normalerweise mit großen Feldhöhen gearbeitet werden. Außerdem ist bei den großen Mühlen nach Feststellung verschiedener Betreiber mit einem geringeren Schüttgewicht als bei den früher verwendeten kleineren Anlagen zu rechnen, so daß der Ausbildung der Jalousie besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist.

Die Vorteile beim Einsatz des Jalousievorabscheiders sind in folgenden Punkten zu sehen:

- Kompakte Anordnung durch Integration des Vorabscheiders in das Elektrofiltergehäuse.
- Einfache Rohrleitungsführung zwischen Rohmühle und Elektrofilter.
- Staubanfall nur an einer Stelle, nämlich unter dem Elektrofilter.
- Beim Einsatz des Jalousievorabscheiders ergibt sich gegenüber einem Zyklon mit zugehörigen Rohrleitungen ein um ca. 100 mm WS geringerer Druckverlust.

2.5 Bypass-Strömungen

Mit den höheren Entstaubungsgraden und den geringeren Reingasstaubgehalten kommt den evtl. im Filter vorhandenen ungereinigten Bypass-Strömungen eine immer größere Bedeutung zu. Bild 5 veranschaulicht den einfach zu errechnenden Einfluß von ungereinigten

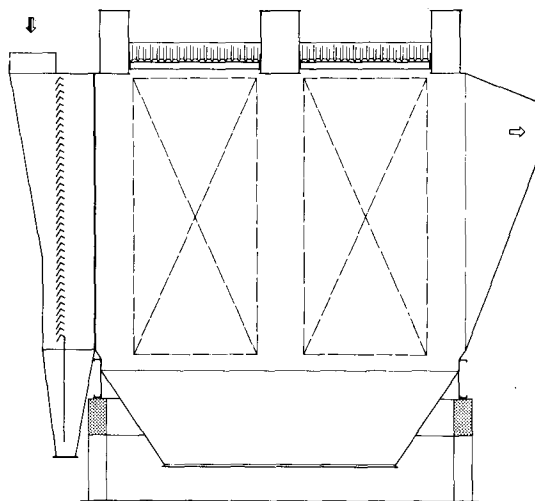


Bild 4: Horizontal-Elektrofilter mit eingebautem Vorabscheider
Horizontal-flow electrostatic precipitator

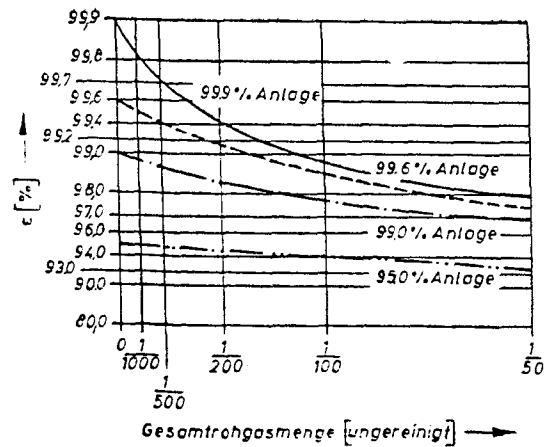


Bild 5: Theoretischer Einfluß von ungereinigten Bypass-Strömungen auf den Entstaubungsgrad

Theoretical effect of uncleaned bypass flows on the precipitation efficiency

Bypass-Strömungen auf den Entstaubungsgrad, der mit zunehmendem Entstaubungsgrad wächst. So wird beispielsweise bei einer Anlage, die für einen Gesamtentstaubungsgrad von 99,9% bemessen ist, durch eine Bypass-Strömung von nur 1/1000 der gesamten Gasmenge der Entstaubungsgrad auf 99,8% abgesenkt, was den doppelten Auswurf bedeutet. Wäre die Anlage für einen Entstaubungsgrad von 95% ausgelegt, so würde sich dieser selbst bei der zehnfachen Bypassmenge nur auf 94% verringern, d. h. der Staubauswurf steigt um 20%.

Zur Vermeidung von Bypass-Strömungen müssen daher in den Filterbunkern abschirmende Einbauten vorgesehen werden, durch die erreicht wird, daß das Gas immer wieder in das elektrische Feld hineingeleitet wird. Die Einbauten in die üblicherweise in der Zementindustrie verwendeten Trogbunker zeigt Bild 6.

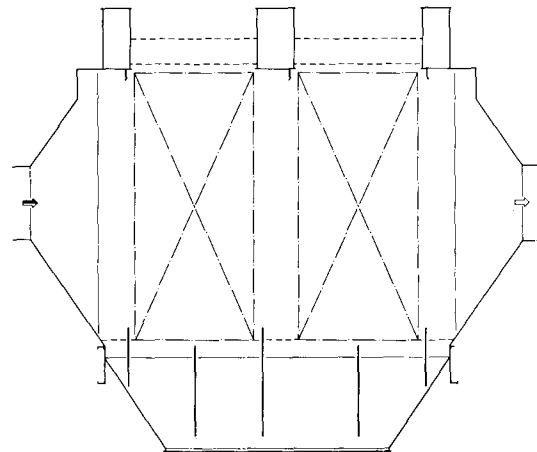


Bild 6: Abschirmung von Bypass-Strömungen
Screening of bypass flows

2.6 Hochspannungsaggregate

Bei Konditionierung der Ofenabgase im Verdampfungskühler bei Direktbetrieb und bei genügend hoher Abgasfeuchte bei Mühlenbetrieb werden Gleichspannungen von 50 bis 55 kV erzielt bei Gleichströmen von 0,4 mA/m² Niederschlagsfläche. Zur Erzeugung dieses hochgespannten Gleichstromes dienen Erzeugungs- und Umsetzungsanlagen, die aus einem Hochspannungstransformator mit nachgeschaltetem Hochspannungsgleichrichter und einem Schrank bestehen. Als Schalt- und Steuerorgane werden Thyristoren, also elektronische Elemente, verwendet.

Hier hat die Entwicklung zu Siliziumgleichrichtern geführt, die gegenüber Selengleichrichtern einen höheren Wirkungsgrad besitzen. Gleichzeitig wurden die Leistungen der Hochspannungsaggregate beträchtlich erhöht, so daß heute Aggregate bis 300 kVA, entsprechend 5000 mA,

im Einsatz sind. Es kann also eine wesentlich größere Niederschlagsfläche pro Aggregat versorgt werden als früher. Wegen der ebenfalls gestiegenen Verfügbarkeit der Hochspannungsversorgungsanlagen kann man prinzipiell auf zusätzliche Reserveaggregate verzichten.

3. Ausführungsbeispiele

In den Jahren 1969 bis 1972 wurden allein in Deutschland zehn Zementdrehöfen mit Leistungen von mehr als 3000 Tagestonnen geordert, bis auf eine Ausnahme alles Wärmetauscheröfen. Hierbei wurden, wenn man von den Planetenkühlern bzw. Gegenstromkühlern absieht, bewährte Technologien angewandt. So waren schon eine Reihe von Elektrofiltern zur Entstaubung von Walzenschüsselmühlen ohne vorgeschaltete Zyklone mit gutem Erfolg in Betrieb, allerdings nur für Leistungen bis etwa 100 t/h. Noch zahlreicher sind die seit Jahren einwandfrei arbeitenden Elektrofilter mit vorgeschalteten Verdampfungskühlern²⁾ hinter Wärmetauscheröfen. Diese Anlagen sind allgemein bekannt und brauchen daher nicht näher erläutert zu werden.

Bezüglich der Größe der installierten Anlage konnte auf Erfahrungen in anderen Arbeitsgebieten zurückgegriffen werden.

Auch mit den Elektrofiltern ist der Sprung zur Großanlage in der Zementindustrie gelungen. Dies ist um so höher zu bewerten, da gleichzeitig die Anforderungen an den Entstaubungsgrad aufgrund der verstärkten behördlichen Auflagen beträchtlich gestiegen sind. Bei bekannt niedrigen Wartungskosten ist die Verfügbarkeit bei gleichzeitiger Einhaltung der geforderten maximalen Staubauswurfzahlen im Dauerbetrieb einschließlich der Umstellphasen erwiesen.

Wie unterschiedlich jedoch die Anordnung der Entstaubungsanlagen hinter den Großdrehöfen ist, zeigt Tabelle 1, auf der sieben der erwähnten zehn Anlagen aufgeführt sind. Die Wärmetauscheröfen haben mit einer Ausnahme (Anlage 4 hat einen Gegenstromkühler) alle Planetenkühler; es muß also keine Kühlerabluft entstaubt werden.

3.1 Drehöfen mit Planetenkühlern

Mit der Zusammenstellung auf Tabelle 1 wurde der Versuch unternommen, die Abgasführung der einzelnen Anlagen tabellarisch aufzuführen. Hierbei enthält die Tabelle neben den Ofen- und Mühlenleistungen vor allem Angaben über Zahl und Anordnung der Verdampfungskühler und der Ofengebläse sowie Einzelheiten über die installierten Elektrofilter.

Alle Anlagen sind in der Bundesrepublik Deutschland installiert und entsprechen in ihrer Auslegung dem neuesten Stand bezüglich der zulässigen Staubemissionen. Trotzdem ergeben sich interessante und zum Teil auch erhebliche Unterschiede im Aufbau der Entstaubungsanlagen, was natürlich auch kostenmäßige Auswirkungen hat.

Die verfahrenstechnisch einfachste und kostenmäßig günstigste Anordnung wurde auf dem Werk 4 realisiert³⁾; sie ist auf Bild 7 dargestellt.

Hieraus geht die sehr einfache Abgasführung Verdampfungskühler-Ofengebläse-Rohmühle-Elektrofilter-Abgasventilator-Kamin hervor. Bei dieser Anordnung ergeben sich relativ kurze Rohrleitungswege, und es ist nur ein Ofengebläse und ein Verdampfungskühler erforderlich. Sie ist jedoch nur realisierbar, wenn stets das gesamte Ofenabgas in der Mahltrocknungsanlage verwertet wird. Die Mühle selbst erhält einen Bypass, durch den bei Stillstand der Mahlanlage das im Verdampfungskühler konditionierte Gas dem Elektrofilter zugeführt wird.

Die Anordnung des Verdampfungskühlers vor dem Ofenventilator hat sich auch bei den Umstellvorgängen von Verbund- auf Direktbetrieb bewährt. Der Verdampfungskühler wird immer vom gesamten Gasstrom beaufschlagt und ist entsprechend warm. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist darin zu sehen, daß bei geringer

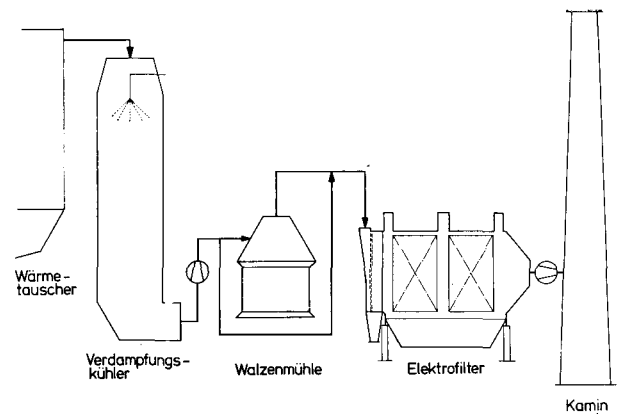


Bild 7: Verbundbetrieb mit Walzenschüsselmühle (Beispiel 1)
Compound operation with roller mill (example 1)

Rohmaterialfeuchte durch Eindüsung kleinerer Wassermengen die Eintrittstemperaturen in die Mahltrocknungsanlage entsprechend eingestellt werden können. Außerdem kann das Gebläse auf Werksflur stehen, was weitere Vorteile, z. B. hinsichtlich Lärminderung, bringt.

Um dies zu ermöglichen, ist jedoch das Bedüsungssystem des Verdampfungskühlers vorteilhaft mit einer Rücklaufregelung²⁾ zu versehen, die ein entsprechend größeres Regelverhältnis ermöglicht.

Auf eine Vorabscheidung der Rohmühlenabluft im Zyklon wurde verzichtet, so daß das gesamte Rohmehl in einem zweifeldrigen Elektrofilter mit vorgeschalteter Jalousie abgeschieden wird.

Um den geforderten außergewöhnlich niedrigen Reingasstaubgehalt von 75 mg/Nm³ tr bei allen Betriebszuständen zu erreichen, wurden nach der Inbetriebsetzung verschiedene Änderungen erforderlich, wie z. B. Beseitigung von Bypass-Strömungen, was durch entsprechende Einbauten erreicht wurde. Hiernach ist das zweifeldrige Elektrofilter ohne weiteres in der Lage, den gewährleisteten Reingasstaubgehalt zu erreichen.

Der Reststaubgehalt des im Elektrofilter gereinigten Abgases wird auf seinen behördlich zulässigen Wert mit einem kombinierten Rauchdichtemeß- und Integrationsgerät überwacht⁴⁾. Es schaltet die Produktionsanlage automatisch ab, wenn die zulässigen Werte überschritten werden. Das Integrationsgerät bildet aus dem Produkt des Staubgehaltes und der Zeit folgende Integralwerte:

- Ein Zwei-Stunden-Integral, das bei Überschreitung des zweifachen Wertes des genehmigten Reststaubgehaltes die Anlage abschaltet.
- Ein 15-Minuten-Integral, welches bei Kurzzeitüberschreitung des einfachen Wertes einen Alarm auslöst.
- Ein Drei-Minuten-Integral, welches die Abschaltung bei kurzzeitiger Überschreitung des vierfachen Reingasstaubgehaltes vornimmt.

Bei Einbau dieses Gerätes mußte vor allen Dingen den Umschaltperioden große Beachtung gewidmet werden. Es kann aufgrund der bisherigen Betriebserfahrungen gesagt werden, daß auch während dieser kritischen Phasen die genehmigten Staubauswürfe nicht überschritten werden.

Ganz ähnlich aufgebaut ist die im gleichen Ballungsgebiet liegende Anlage Nr. 1⁵⁾. Hier wurden jedoch trotz Installation nur eines Verdampfungskühlers der Zweisträngigkeit des Wärmetauschers folgend zwei Ofenventilatoren eingebaut. Auch hier wird das gesamte Rohmehl im Elektrofilter abgeschieden und die für den Mahltrocknungsbetrieb richtige Mühleneintrittstemperatur von ca. 250 °C durch Eindüsen von Wasser in den Verdampfungskühler einreguliert. Bei Stillstand der Rohmühle wird das Ofenabgas im Verdampfungskühler auf ca. 150 °C erniedrigt und von dem hinter dem Elektrofilter angeordneten Mühlengebläse abgesaugt.

Das Elektrofilter selbst ist hinter dem Jalousieabscheider mit drei unabhängigen elektrischen Feldern ausgerüstet.

TABELLE 1

Drehöfen mit Planetenkühlern

Rotary kilns with planetary coolers

Lfd. Nr. der Anlage Reihenfolge d. Bestellung	WT-Ofen System	Ofenleistung t/24 h	Zahl der Ofengebläse	Zahl der Verdampfungskühler	Anordnung des VDK vor/hinter Ofengebläse	Bauart der Mahltrocknungsanlage	Mühlleistung t/h	Anzahl der Mühlen	Art der Vorabscheidung	Anzahl der Filter	Elektrofilter			Prinzipielle Anordnung gemäß
											Anzahl der elektr. Felder	Feldhöhe m	Zahl der Hochspannungsaggregate	
1	Polysius/FLS	3000	2	1	vor	Walzenschüsselmühle	270	1	Jalousie	1	3	10,5	3	Bild 7
2	KHD	3000	2	2	vor	Walzenschüsselmühle	240	1	Multiklonwand	1	2	10,5	2 + 1 Reserve	Bild 9
3	Polysius	3000	2	2	vor	Walzenschüsselmühle	150	2	Zyklone	2	2	12	4	Bild 10
4	KHD *)	3000	1	1	vor	Walzenschüsselmühle	200	1	Jalousie	1	2	12	2	Bild 7
5	KHD	3000	2	2	vor	Walzenschüsselmühle	275	1	Jalousie	1	2	12	2	Bild 9
6	FLS	3000	2	2	vor	Walzenschüsselmühle	250	1	Jalousie	1	3	7,5	3	Bild 9
7	Polysius	3000	1	1	hinter	kein Verbundbetrieb	—	—	—	1	2	10,5	2	—

*) Als Klinkerkühler ist ein Gegenstromkühler eingesetzt.

TABELLE 2

Drehöfen mit Rostkühlern

Rotary kilns with grate coolers

Lfd. Nr. der Anlage Reihenfolge d. Bestellung	WT-Ofen System	Ofenleistung t/24 h	Zahl der Ofengebläse	Zahl der Verdampfungskühler	Anordnung des VDK vor/hinter Ofengebläse	Bauart der Mahltrocknungsanlage	Mühlleistung t/h	Anzahl der Mühlen	Art der Vorabscheidung	Anzahl der Filter	Elektrofilter			Zahl der Hochspannungsaggregate
											Anzahl der elektr. Felder	Feldhöhe m	Zahl der Hochspannungsaggregate	
1	KHD	3000	1	1	hinter	Kugelmühle	170	1	Zyklone	1	2	10,5	2	
2	Polysius	3500	1	1	hinter	Kugelmühle	150	2	Zyklone	1	2	12	2	
3	KHD	3500	2	1	hinter	Kugelmühle	340	1	Zyklone	2	2	10,5	4	
4	IHI	4000	2	1	hinter	Walzenschüsselmühle	350	1	Jalousie	2	3	10,5	3 + 1 Reserve	
5	Polysius	3400	1	Wassereindüsung in Trockentrommel	—	Trockentrommel	150	1	keine	2	3	12	6	

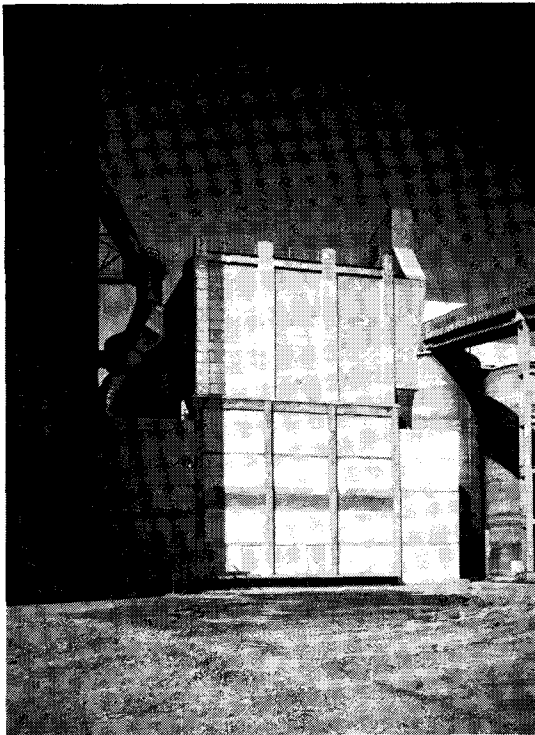


Bild 8: Betriebsanlage eines 3-feldrigen Elektrofilters
Installation comprising a triple-field electrostatic precipitator

Die Konzession für diese Anlage schrieb einen Reingasstaubgehalt von maximal 120 mg/Nm^3 tr sowie ebenfalls eine kontinuierliche Staubgehaltsmessung mit Integrationsgerät und Abschaltautomatik vor. Das Elektrofilter ist hierbei so ausgelegt, daß der behördlich genehmigte Staubauswurf auch dann noch eingehalten wird, wenn eins der drei Kraftfelder elektrisch oder mechanisch ausgefallen ist. Hierdurch ist natürlich das Elektrofilter weit überdimensioniert, eine vom Werk gewünschte zusätzliche Sicherheit.

Bild 8 zeigt die gerade beschriebene Elektrofilteranlage. Durchgeführte Messungen ergaben bei voll eingeschaltetem Elektrofilter im Verbundbetrieb, d. h. bei Verwendung des Ofenabgases zur Trocknung des Rohmaterials in der Rohmühle Reingasstaubgehalte unter 50 mg/Nm^3 tr, entsprechend einem Entstaubungsgrad von größer als 99,995 %.

Bei Abschalten des dritten Kraftfeldes stieg der Reingasstaubgehalt bei sonst unveränderten Abgasverhältnissen naturgemäß an, blieb aber unter 100 mg/Nm^3 tr. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß bei Ausfall des letzten Kraftfeldes vorübergehend mit einem höheren Staubgehalt zu rechnen ist, da selbst bei abgeschalteter Klopfung der noch an den Innenteilen haftende Staub mitgerissen wird.

Die Anlagen Nr. 2, 5 und 6 sind ebenfalls mit nur einem Elektrofilter — unterschiedlicher Feldzahl — ausgestattet, verwenden jedoch gemäß Bild 9 alle zwei Verdampfungskühler vor den beiden Ofengebläsen. Während die zuletzt genannten Anlagen von der ersten Inbetriebsetzung an einwandfrei funktionierten, ergaben sich bei der Anlage Nr. 2 durch das außergewöhnlich niedrige Schüttgewicht des Rohmehls zu niedrige Abscheidegrade der Jalousie⁶⁾. Um bei allen Betriebszuständen den behördlich geforderten Reingasstaubgehalt erreichen zu können, wurde daher der Jalousieabscheider durch einen Axial-Multiklon ersetzt. Durch diese Maßnahme wird der gewährleisteteste Reingasstaubgehalt weit unterschritten. Anbackungen im Multiklon, die zu Störungen im Filterbetrieb geführt haben, sind während der über einjährigen Betriebszeit nicht aufgetreten.

Ein von den übrigen Anlagen abweichendes Konzept wurde bei der Anlage Nr. 3 angewandt⁷⁾. Während die Abgase der anderen im Verbundbetrieb mit Wärmetau-

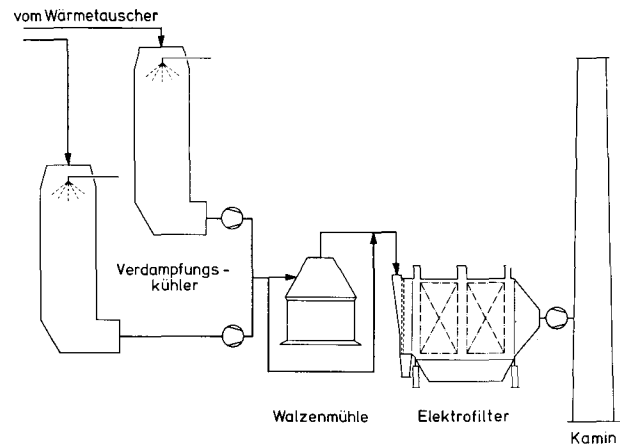


Bild 9: Verbundbetrieb mit Walzenschüsselmühle (Beispiel 2)
Compound operation with roller mill (example 2)

scheröfen arbeitenden Walzenschüsselmühlen direkt ins Elektrofilter gehen, wurde in diesem Fall eine Vorabscheidung durch Zyklone gewählt. Es wurden außerdem zwei Mahlanlagen installiert, um kleinere Reparaturen ohne Beeinträchtigung des Ofenbetriebes durchführen zu können. Dieses Konzept hat natürlich entsprechende Auswirkungen auf die Abgasführung wie Bild 10 zeigt:

Die Abgase aus dem Wärmetauscherofen durchströmen zunächst die beiden Verdampfungskühler, die vor den Ofenventilatoren angeordnet sind, was die bereits erwähnten Vorteile bietet. Von hier aus gelangt das Abgas entweder zu den Rohmühlen (Verbundbetrieb) oder nach entsprechender Abkühlung in den Verdampfungskühlern direkt zu den beiden Elektrofiltern (Direktbetrieb). Im Verbundbetrieb werden die Mühlenabgase zunächst in einer Zyklonbatterie vorentstaubt, gelangen dann in die Mühlengebläse und von dort in die beiden Elektrofilter.

Da die Mahlanlagen mit Umluft arbeiten, stehen die Elektrofilter auf der Druckseite der Mühlengebläse, welche im staubhaltigen Abgas arbeiten. Wie auch Bild 11 erkennen läßt, wurde bei dieser Anlage die Zweisträngigkeit des Wärmetauschers konsequent über die Verdampfungskühler, die Ofengebläse, die Rohmühlen, die Mühlenventilatoren und die Elektrofilter beibehalten.

Staubgehaltsmessungen ergaben sowohl im Direktbetrieb als auch im Verbundbetrieb (bei Rohgasstaubgehalten von ca. 50 g/m^3 eff) Reingaswerte von unter 50 mg/m^3 eff.

3.2 Drehöfen mit Rostkühlern

In Tabelle 2 sind eine Reihe von Großdrehöfen aufgeführt, die im gleichen Zeitraum geplant bzw. gebaut wurden, sich aber auf ein anderes Anlagenkonzept stützen. Die Anlagen befinden sich in Süddeutschland, Persien, Italien, Griechenland und Belgien.

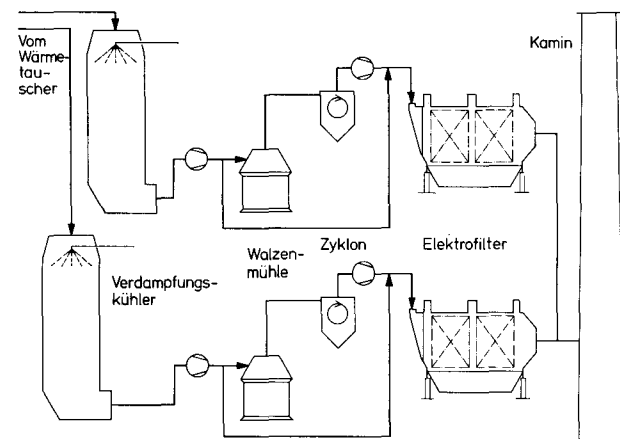


Bild 10: Verbundbetrieb mit Walzenschüsselmühle (Beispiel 3)
Compound operation with roller mill (example 3)

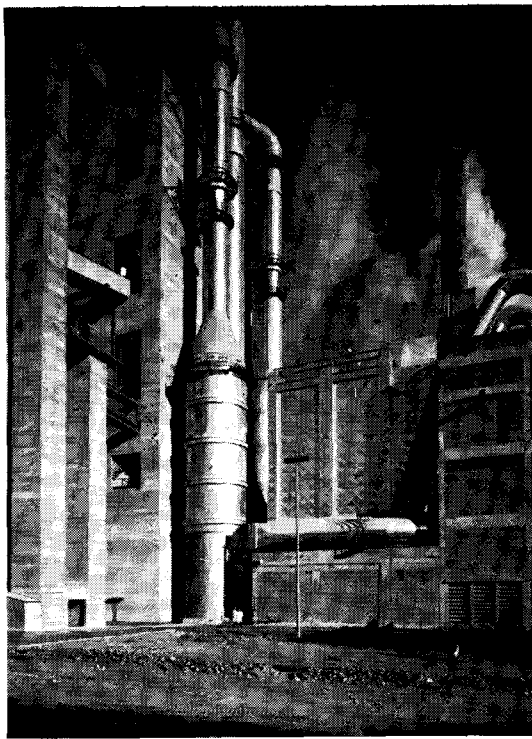


Bild 11: Elektrofilter mit vorgeschaltetem Verdampfungskühler
Electrostatic precipitator with evaporative cooler installed upstream of it

Allen Öfen ist gemeinsam, daß sie mit Rostkühlern ausgestattet sind, daß also Kühlerabluft anfällt, die entstaubt werden muß. Aus bereits früher beschriebenen Gründen⁸⁾ ist jedoch an dieser Stelle der Einsatz von Elektrofiltern mit zu großen Risiken in bezug auf die Einhaltung der gewünschten Reingasstaubgehalte verbunden, so daß die Kühlerabluft dieser Anlagen ausnahmslos mit Drallschichtfiltern entstaubt wird. Zwischenzeitlich durchgeführte Messungen an den bereits in Betrieb befindlichen Anlagen haben frühere Ergebnisse bestätigt, daß mit Drallschichtfiltern hinter Klinkerkühlern die gleichen Reingaswerte, wie auf der Ofenabgasseite gefordert, im Dauerbetrieb erreicht werden können.

Bei Betrachtung der Tabelle fällt auf, daß nur bei einer Anlage der Wärmetauscherofen im Verbund mit einer Walzenschüsselmühle und ohne Vorabscheidungszyklone arbeitet. Bei den übrigen mit Kugelmöhlen ausgestatteten Neuanlagen wurde der konventionelle Weg mit vorgeschalteten Zyklonen beschriftet.

Obwohl an einer Reihe von Großanlagen nachgewiesen wurde, daß Ein-Kammer-Elektrofilter in bezug auf Verfügbarkeit ausreichende Sicherheiten bieten, entschloß sich die Mehrzahl der in Tabelle 2 aufgeführten Betreiber für zwei parallele Elektrofilter mit zwei bzw. sogar mit drei Kraftfeldern und größeren Filterflächen.

Für diese recht aufwendige Technik muß mit Mehrkosten gegenüber einem Ein-Kammer-Elektrofilter mit zwei Kraftfeldern bis zu 30 % gerechnet werden. Natürlich hat diese Anordnung den Vorteil, daß bei Störung an einem Elektrofilter ein Notbetrieb über die zweite Filterkammer aufrecht erhalten werden kann.

Eine verfahrenstechnische Variante stellt die Anlage Nr. 5 dar, bei der die Abgasverwertung in einer Trockentrommel stattfindet — wie auf Bild 12 dargestellt —. Diese Anordnung ermöglicht es, auf einen Verdampfungskühler zur Konditionierung der Abgase zu verzichten.

Im Direktbetrieb, d. h. wenn der Trommel kein Material zum Trocknen aufgegeben wird, wird das zur Abkühlung und Anfeuchtung des Gases notwendige Wasser in die Trockentrommel eingedüst. Bei Normalbetrieb des Trockners, bei dem die Ofenabgase zur Rohmaterialtrocknung ausgenutzt werden, ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie hinter Mahltrocknungsanlagen. Dieses Konzept ist bereits in einer Reihe von Anlagen kleinerer Leistung seit Jahren mit Erfolg in Betrieb.

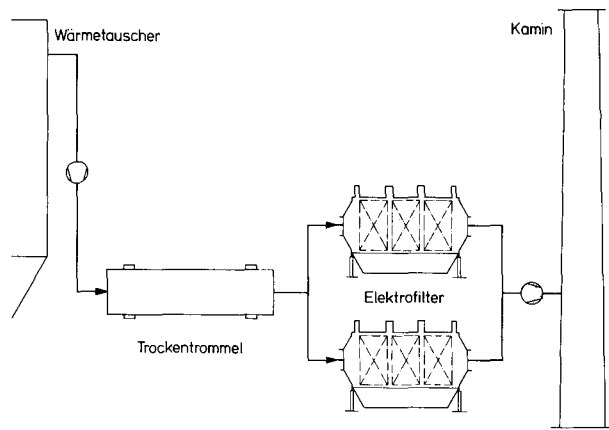


Bild 12: Verbundbetrieb mit Trockentrommel
Compound operation with rotary dryer

3.3 Bypass-Elektrofilter

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß an zwei der in den Tabellen 1 und 2 aufgeführten Anlagen wegen des hohen Gehaltes an Alkali-Chloriden im Rohmaterial ein Teil der aus dem Drehofen kommenden Abgase vor dem Wärmetauscher abgezogen wird, ein sogenannter Alkali- oder Chlorbypass⁹⁾. Diese Abgase werden zunächst in einer speziellen Mischkammer mit Falschlufft von ca. 1150 °C auf ca. 400 °C abgekühlt, um dann in einem Elektrofilter gereinigt zu werden.

Bei welcher Temperatur das Elektrofilter betrieben werden kann, hängt vom spezifischen Staubwiderstand des abzuschheidenden Staubes ab. Bei der Projektierung bzw. beim Bau einer Neuanlage wird man daher den sicheren Weg der Konditionierung der Abgase gehen. Die 400 °C heißen vorgekühlten Gase werden dazu in einem Verdampfungskühler auf ca. 130 °C abgekühlt und dann in einem Elektrofilter gereinigt.

Es hat sich gezeigt, daß bei richtiger Dimensionierung und Gestaltung des Verdampfungskühlers, vor allem in bezug auf Gas- und Wasserverteilung, das sehr leicht zu Ansätzen neigende alkalistaubhaltige Abgas beherrscht wird. Die gewünschte Entstaubungsleistung wird von einem zweifeldrigen Elektrofilter ohne Schwierigkeiten erbracht.

Bei der zweiten erwähnten Anlage wurde der Bypass erst nach einiger Betriebszeit der Drehofenanlage installiert, so daß der Staubwiderstand durch Messungen im Bypassgasstrom ermittelt werden konnte. Hierdurch war es möglich, die Elektrofilteranlage für eine Gastemperatur von ca. 400 °C zu dimensionieren, bei der es die gewünschten Reingasstaubgehalte ebenfalls erzielt.

Die im Bypass abgezogenen Gasmengen betragen in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Rohmaterials maximal 15 % bzw. 5 %.

Schrifttum

- 1) Arras, K.: Elektrofilter für die Entstaubung von Zementmöhlen. Zement-Kalk-Gips 25 (1972), 610—615.
- 2) Arras, K.: Verdampfungskühler für Elektrofilter der Zementindustrie. Zement-Kalk-Gips 23 (1970), 106—112.
- 3) Pisters, H.: Verfahren, Innovationen und Betriebserfahrungen im neuen Readymix Zementwerk Beckum. Zement-Kalk-Gips 28 (1975), 459—465.
- 4) Spielhagen, U.: Die Bedeutung von Umweltschutz und Arbeitssicherheit bei der Planung und dem Betrieb des Readymix Zementwerkes Beckum. Zement-Kalk-Gips 28 (1975), 466—471.
- 5) Menslage, O.: Planung, Bau und Inbetriebnahme eines 3000-t/d-Zementwerkes in Beckum. Zement-Kalk-Gips 27 (1974), 93—101.
- 6) Bartmann, R.: Betriebserfahrungen mit der Neuanlage des Zementwerkes „Alemannia“. Zement-Kalk-Gips 29 (1976), 103—111.
- 7) Maier, H.: Neubau des Zementwerkes Schelklingen. Zement-Kalk-Gips 27 (1974), 102—110.
- 8) Arras, K.: Klinkerkühlerentstaubung — Stand der Technik. Zement-Kalk-Gips 26 (1973), 421—427.
- 9) Goes, C.: Neubau des 3000-t/d-Zementwerkes „Alemannia“ in Höver. Zement-Kalk-Gips 29 (1976), 93—102.