



State-of-the-art explosion protection for dedusting of coal grinding plants

Dipl.-Ing. (FH) Tim Neuhaus¹, Dipl.-Ing. Theo Schrooten², Dipl.-Ing. Jörg Baldauf³

¹ Development Manager, ² Head of Technology Department, Intensiv-Filter GmbH & Co. KG, Velbert-Langenberg/Germany

³ Sales Manager, Thorwesten Vent GmbH, Beckum/Germany

Summary: With dedusting of coal grinding plants, the state of the technology is determined by the explosion protection measures, the filtration performance and the design of the plant. To ensure safe operation of a plant, only certified and tested concepts and components should be used for its design and manufacture. With plants protected against explosion, such issues will always affect the plant's resistance, its explosion relief venting and its explosion decoupling systems. Economic factors, where the aim is minimising the filter level and lean design, should not be forgotten with dedusting and it is important that plants are aligned to the latest state of technological development. With their years of experience and continuing development in the area of dedusting for coal grinding plants, Intensiv-Filter and Thorwesten Vent have succeeded in implementing the state of the art.

Explosionsschutz für die Entstaubung von Kohlemahlanlagen

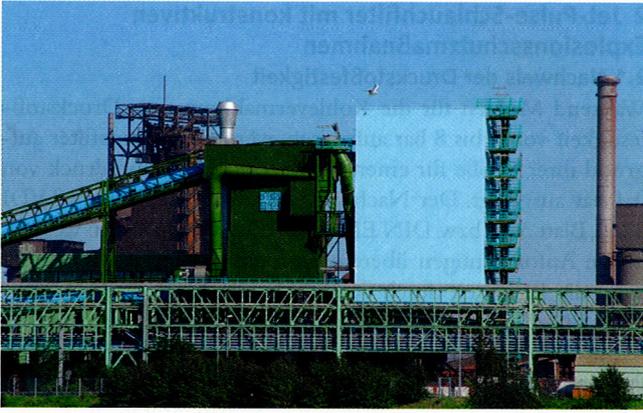
Zusammenfassung: Der Stand der Technik für die Entstaubung von Kohlemahlanlagen wird durch Explosionsschutzmaßnahmen, Filtrationsleistung und Anlagendesign bestimmt. Für den sicheren Betrieb einer Anlage ist bei Auslegung und Fertigung auf geprüfte und zertifizierte Konzepte und Anlagenkomponenten zurückzugreifen. Hiervon betroffen sind bei explosionsgeschützten Anlagen immer die Festigkeit der Anlage, die Explosionsentlastung und die Explosions-Entkopplungssysteme. Aber auch die betriebswirtschaftliche Seite einer Entstaubung mit dem Ziel eines minimalen Filterwiderstandes und eines schlanken Designs definiert den Stand der Technik. Intensiv-Filter und Thorwesten Vent haben durch ihre jahrelangen Erfahrungen und Weiterentwicklung im Bereich der Entstaubung von Kohlemahlanlagen den Stand der Technik umgesetzt.

Protection antidéflagrante du dépolvissage d'installations de broyage de charbon

Résumé: Les mesures antidéflagrantes, la performance de filtration et la conception des installations sont les facteurs déterminant le standard technique du dépolvissage des installations de broyage de charbon. En vue d'assurer une exploitation sûre de l'installation, il y a donc lieu de recourir à des concepts et à des composants d'installations contrôlés et certifiés pour la conception et la réalisation des installations. Concernant les installations antidéflagrantes, ce sont toujours la résistance de l'installation, la décharge explosive et les systèmes de découplage d'explosion qui importent. Les facteurs économiques, soit une résistance de filtre minimale et une conception judicieuse, déterminent toutefois aussi le standard technique d'une installation de dépolvissage. Intensiv-Filter et Thorwesten Vent ont, grâce à leur longue expérience et aux perfectionnements du dépolvissage d'installations de broyage de charbon, réalisé le standard technique.

Protección ante explosiones "state of the art" de las plantas de molienda de carbón

Resumen: El estado de la técnica de las plantas de molienda de carbón está determinado por las medidas de protección en caso de explosión, la eficiencia de la filtración y el diseño de la planta. Para garantizar una operación segura de la instalación, se debe aplicar únicamente conceptos y componentes certificados y probados en su diseño y fabricación. Esta protección siempre afecta a la resistencia de la planta y a sus sistemas de descarga y separación en caso de explosión. Los factores económicos en el despolvado, cuyo objetivo es una resistencia de filtrado mínima y un diseño esbelto, también definen el estado de la técnica. Las compañías Intensiv-Filter y Thorwesten Vent aplican con éxito los últimos avances de esta técnica en las instalaciones de despolvado de las moliendas de carbón gracias a su larga experiencia y su continuo desarrollo.



Source/Quelle: ThyssenKrupp Steel Europe

1 Intensiv-Filter jet-pulse bag filter for dedusting of a coal mill. Plant: KBS Schwelgern, ThyssenKrupp Steel Europe, volume flow: 93 000 m³/h a.c. Clean gas concentration < 5 mg/m³ n.c.

Intensiv-Filter Jet-Pulse Schlauchfilter zur Entstaubung einer Kohlemühle. Anlage: KBS Schwelgern, ThyssenKrupp Steel Europe, Volumenstrom: 93 000 m³/h i. B., Reingaskonzentration < 5 mg/m³ i. N.

1 Introduction

Coal is still considered the most important fuel for the manufacture of cement, lime and gypsum. In the German cement industry, despite the increasing use of secondary fuels, the proportion of the total thermal energy requirement is still around 40 % (36.6 million GJ/a) [1]. This value has stabilised over the past few years and the trend is anticipated to be rising rather than falling. Worldwide, coal as a fuel for the cement industry is even more important since secondary fuels are used less and coal is often available locally, making it a low-cost energy source. Particularly in countries like India, China and in South-East Asia, a considerable increase is expected in sales of cement and hence in coal combustion over the next few years, due to the construction boom.

As the capacities of furnace systems have become increasingly larger, so the sizes of coal mills have also increased considerably over the past few years. Dedusting plants need to be capable of dedusting volume flows well above 250 000 m³/h, with stricter environmental constraints in some cases. Current dust emission values in Europe are around 20 mg/m³ n.c., a trend which can also be observed worldwide. Intensiv-Filter bag filters are capable of clean gas values significantly below 10 mg/m³ n.c., with no need for any additional measures.

For efficient combustion of coal, it is important that this is suitably finely ground and dried. Generally speaking, vertical mills are used for grinding purposes. For drying, the exhaust gas volume flow of a burner conducted to the mill is used. This is heated directly and, after grinding, used to conduct the coal out of the mill and via a dedusting plant. In the dedusting plant, the coal is separated from the carrier gas and metered into the fine coal silo of the combustion plant. Jet-pulse bag filters currently represent the latest state of development with dedusting plants for coal grinding plants. These have a high level of separation efficiency leading to reduced product losses with low operating costs at the same time. For reasons of safety and environment, electrostatic precipitators are now no longer used.

Coal, as a combustible, finely-ground dust, and when dispersed into air or exhaust gas with a sufficient proportion of oxygen, it forms an explosive mixture. Even if the coal is generally ground

1 Einleitung

Nach wie vor gilt Kohle als wichtigster Brennstoff bei der Zement-, Kalk- und Gips Herstellung. In der deutschen Zementindustrie beträgt der Anteil am gesamten thermischen Energiebedarf – trotz des vermehrten Einsatzes von Sekundärbrennstoffen – noch immer rund 40 % (36,6 Mio. GJ/a) [1]. Dieser Wert hat sich in den letzten Jahren stabilisiert und es ist eher mit einem steigenden als mit einem fallenden Trend zu rechnen. Weltweit ist Kohle als Brennstoff in der Zementindustrie wesentlich stärker vertreten, da Sekundärbrennstoffe weniger zum Einsatz kommen und Kohle als preiswerter Energieträger auch lokal vorliegt. Insbesondere in Ländern wie Indien, China und in Südostasien ist in den nächsten Jahren aufgrund des Baubooms ein starker Anstieg im Zementabsatz und damit bei der Kohleverbrennung zu erwarten.

Aufgrund der immer größer werdenden Kapazitäten der Ofensysteme sind auch die Baugrößen der Kohlemühlen in den letzten Jahren stark gewachsen. Die Entstaubungsanlagen müssen Volumenströme von teilweise weit über 250 000 m³/h bei gleichzeitig erhöhten Umweltauflagen entstauben können. Die aktuellen Staubemissionswerte liegen in Europa bei 20 mg/m³ i.N. Der Trend zu diesem Wert ist auch weltweit zu beobachten. Schlauchfilter von Intensiv-Filter erzielen Reingaskonzentrationen von deutlich unter 10 mg/m³ i.N. ohne zusätzliche Maßnahmen.

Für eine effiziente Verbrennung der Kohle muss diese entsprechend fein gemahlen und getrocknet werden. In der Regel werden für die Vermahlung Vertikalmühlen eingesetzt. Die Trocknung erfolgt über dem der Mühle zugeführten direkt beheizten Abgasvolumenstrom eines Brenners, mit dem die Kohle nach ihrer Vermahlung aus der Mühle und über eine Entstaubungsanlage geführt wird. In der Entstaubungsanlage wird die Kohle aus dem Trägergas abgeschieden und in die Feinkohlesilos des Verbrennungssystems dosiert. Stand der Technik für Entstaubungsanlagen nach Kohlemahlanlagen sind heute Jet-Pulse-Schlauchfilter. Sie verfügen über hohe Abscheidegrade und damit reduzierte Produktverluste bei gleichzeitig niedrigen Betriebskosten. Elektrofilter werden aus sicherheits- und umwelttechnischen Gründen nicht mehr eingesetzt.

Als brennbarer, feingemahlener Staub bildet Kohle dispergiert in Luft bzw. Abgas mit ausreichendem Sauerstoffanteil ein explosives Gemisch. Auch wenn die Kohlevermahlung in der Regel unter inerten Bedingungen verläuft, so sind doch unter Start- und Stillsetzbedingungen sowie bei Störfällen mit der Überschreitung der zulässigen Sauerstoffkonzentrationen zu rechnen. In der Zementindustrie stehen nicht, wie z. B. in der Stahlindustrie, ausreichende Inertgase aus dem Prozess zur Verfügung, so dass eine zusätzliche Inertisierung der Anlage nicht möglich oder nur durch sehr kostenintensive Maßnahmen realisiert werden kann. Die Sicherheit der Anlage muss deshalb durch konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen umgesetzt werden. Hierbei werden alle Anlagenkomponenten (Mühle, Rohrleitung, Filter) druckstoßfest für einen reduzierten Explosionsdruck ausgeführt und mit Entkopplungssystemen und Entlastungsorganen ausgerüstet.

Im vorliegenden Artikel werden die Auslegung und die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Entstaubung von Kohlemahlanlagen nach dem heutigen Stand der Technik vorgestellt (Bild 1). Ferner werden die Betriebswirtschaftlichkeit von Entstaubungsanlagen und der Umbau von Altanlagen betrachtet.



2 Explosion test on a prototype of module designed Combijet series
Explosionsprüfung an dem modular aufgebauten Prototyp der Filterbaureihe Combijet

under inert conditions, permissible oxygen concentrations may still be exceeded under start-up or shut-down conditions or in case of malfunctions. In the cement industry – unlike in the steel industry for instance – sufficient inert gases to enable additional inertisation of the plant are not available from the process or they can only be realised using very cost-intensive measures. Safety of the plant therefore needs to be achieved by incorporating explosion protection measures into its design. With this, all plant components (mill, pipeline, filter) are designed to be pressure shock resistant to reduce explosion pressure, as well as being equipped with decoupling systems and relief devices.

This article describes the latest state of technological development for the design of dedusting in coal grinding plants (Fig. 1), as well as the relevant safety requirements. In addition, it looks at the operating efficiency of dedusting plants and the conversion of old plants.

2 Jet-pulse bag filter with explosion protection design measures

2.1 Verification of pressure shock resistance

Whereas mills for coal grinding have a pressure shock resistance of 3 to 8 bar, due to their large size bag filters are designed to reduce explosion pressure to 0.4 bar. Resistance is verified in accordance with VDI 2263, Sheet 3 [2] and DIN EN 14460 [3], which conform in their key requirements. Thereafter, resistance can be calculated using the proposed standards (AD 2000, DIN EN 13445) and confirmed with a pressure test or, alternatively, verified by an explosion test on a prototype. Due to a bag filter's rectangular geometry, this calculation is impossible. The same is true for a pressure test due to the size of the filter and the complexity of the test. The only viable alternative is therefore an explosion test on a prototype. Though this is complex, results are transferable to various sizes for bag filter systems with a modular design. As a result of the test, which is conducted with a factor of 1.1 of the required pressure shock resistance, permanent deformations may occur to the prototype but it must not burst. The explosion test must be conducted us-

2 Jet-Pulse-Schlauchfilter mit konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen

2.1 Nachweis der Druckstoßfestigkeit

Während Mühlen für die Kohlevermahlung eine Druckstoßfestigkeit von 3 bis 8 bar aufweisen, werden Schlauchfilter aufgrund ihrer Größe für einen reduzierten Explosionsdruck von 0,4 bar ausgelegt. Der Nachweis der Festigkeit ist gemäß VDI 2263, Blatt 3 [2] bzw. DIN EN 14460 [3], welche in den wesentlichen Anforderungen übereinstimmen, zu erbringen. Danach kann die Festigkeit durch vorgeschlagene Normen (AD 2000, DIN EN 13445) berechnet und mit einer Druckprüfung bestätigt oder alternativ durch eine Explosionsprüfung an einem Prototyp nachgewiesen werden. Eine Berechnung ist aufgrund der rechteckigen Geometrie eines Schlauchfilters bzw. eine Druckprüfung, durch die Größe des Filters und des Prüfungsaufwandes, nicht möglich. Es bleibt deshalb nur die Explosionsprüfung an einem Prototyp. Diese ist zwar aufwändig, jedoch können die Ergebnisse bei modular aufgebauten Schlauchfiltersystemen auf verschiedene Baugrößen übertragen werden. Im Ergebnis der Prüfung, die mit einem Faktor von 1,1 der angestrebten Druckstoßfestigkeit durchgeführt wird, darf eine permanente Verformung, aber kein Bersten des Prüflings auftreten. Die Explosionsprüfung muss mit der explosionsfähigen Atmosphäre, für die das Gerät bestimmungsgemäß verwendet wird oder unter einer Prüfatmosfera mit ähnlichen sicherheitstechnischen Eigenschaften (maximaler Explosionsdruck, maximaler Explosionsdruckanstieg) durchgeführt werden.

Intensiv-Filter hat zwei seiner Filterbaureihen (geschraubte und geschweißte Variante) durch eine zertifizierte Prüfstelle (BVS, Exam BBG Prüf- und Zertifizier GmbH, beides heute Dekra Exam GmbH) erfolgreich einer Explosionsprüfung unterzogen, ohne dass eine Verformung der Prüflinge sichtbar wurde. Bild 2 zeigt die Prüfung des Intensiv-Filter Combijets bei der Entlastung einer Explosion.

2.2 Auslegung der Entlastungsfläche und Auswahl der Entlastungsorgane

Die notwendige Entlastungsfläche zur Ableitung des Drucks aus dem Filter wird nach VDI 3673 [4] bzw. DIN EN 14491 [5] berechnet. Die Größe der Entlastungsfläche wird durch die Druckstoßfestigkeit und das zu entlastende Volumen des Filters, den staubspezifischen Kenndaten maximaler Explosionsdruck (p_{max}) und der Druckanstiegsgeschwindigkeit (K_{St} -Wert) sowie dem Ansprechdruck des Entlastungsorgans bestimmt. Bei Aufstellung des Filters innerhalb eines Gebäudes sind über druckstoßfeste Deflektoren die Druckwelle und Explosionsflammen aus dem Gebäude zu leiten.

Aufgrund ihrer Vorteile werden bei Schlauchfiltern für Kohlemalanlagen selbstschließende und wieder verwendbare Explosionsklappen eingesetzt. Bei der von Thorwesten Vent GmbH entwickelten Luftkissen-Explosionsklappe öffnet die Verschlussklappe bereits bei einem Ansprechdruck von 0,05 bar und schwenkt gegen die bewegliche Aufprallplatte. Da sich ein Luftkissen zwischen Verschlussdeckel und Aufprallplatte aufbaut, nimmt die kinetische Energie des Verschlussdeckels ab und wird wieder unbeschädigt in seiner Ausgangslage geschlossen (Bild 3). Durch das sofortige Wiederverschließen der Entlastungsfläche wird ein Sauerstoffeinbruch in den Prozess verhindert. Folgebrände oder Sekundärexplosionen werden vermieden und die Anwendung einer Stützinertisierung ermöglicht. Ein Austausch des Entlastungsorgans, wie es bei

ing the potentially explosive atmosphere for which the device is intended or in a test atmosphere with similar safety features (maximum explosion pressure, maximum increase of explosion pressure).

Two of Intensiv-Filter's filter series (screwed and welded variants) successfully underwent an explosion test using a certified testing authority (BVS, Exam BBG Prüf- und Zertifizier GmbH, both now Dekra Exam GmbH), in which no deformation of the prototype was visible. **Figure 2** shows the test for the Intensiv-Filter CombiJet during explosion relief.

2.2 Design of the relief area and selection of relief devices

The required relief area for venting the pressure from the filter is calculated according to VDI 3673 [4] and DIN EN 14491 [5]. The size of the relief area is determined by the pressure shock resistance and volume of the filter to be relieved, dust-specific characteristic data of the maximum explosion pressure (p_{max}) and the pressure rise (K_{St} value) as well as the response pressure of the relief device. When the filter is erected inside a building, pressure wave and explosion flames need to be conducted out of the building using pressure shock resistant deflectors.

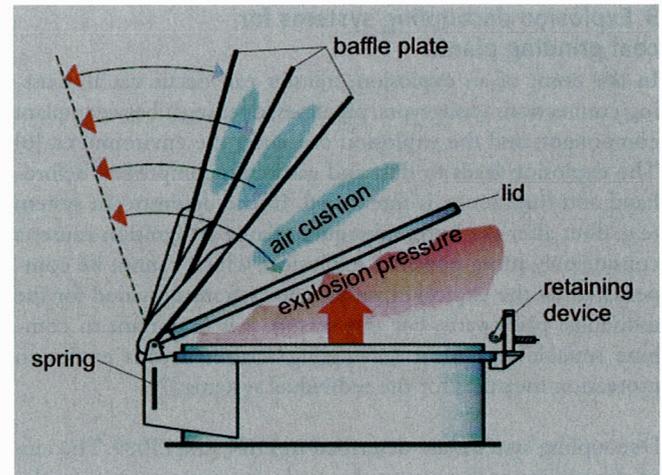
Self-closing, reusable explosion flaps are used with bag filters for coal grinding installations due to their benefits. With the air cushion explosion flap developed by Thorwesten Vent, the sealing flap opens at a response pressure of 0.05 bar and swings against the moving impact plate. As an air cushion is built up between the sealing flap and the impact plate, the kinetic energy of the sealing flap is reduced and it is closed again in its initial position without any damage (**Fig. 3**). As the relief area is closed immediately, any incursion of oxygen into the process is prevented. Resultant fires or secondary explosions are avoided and backup inertisation can be used. This renders replacement of the relief device, as is required with rupture discs, unnecessary and plant availability is maintained.

When installing the relief devices, care must be taken to ensure explosion pressure waves and flame fronts can be discharged unobstructed both inside and outside of the filter. To prevent closure of the relief area by filter bags, a sufficient distance must be maintained between bags and the relief area and a corresponding restraint system provided for the bags. Outside the plant, the area in front of and underneath the relief area must be kept clear. The range of the flames can be up to 50 m and the pressure wave may still be more than 200 mbar at a distance of 10 m.

The relief devices used must meet the requirements of DIN EN 14797 and be certified according to the ATEX Guideline 94/9/EU as safety devices.

2.3 Statics and manufacture

Specifications for the manufacture of pressure shock resistant installations are contained in DIN EN 14460. Selected and approved materials must meet mechanical, thermal and chemical requirements with regard to the design and operation of the filter. Welding work may only be carried out by approved and certified welders. This applies to both the assembly and the erection of the plant at the location. Recoil forces occurring during pressure relief must be taken into account when designing the filter supporting structure.



3 Operating principle of the Thorwesten Vent air cushion explosion flap
Funktionsprinzip Thorwesten Vent Luftkissen-Explosionsklappe

Berstscheiben erforderlich ist, entfällt und die Anlagenverfügbarkeit wird aufrechterhalten.

Beim Einbau von Entlastungsorganen ist auf eine freie Abführung der Explosionsdruckwellen und Flammenfronten sowohl innerhalb als auch außerhalb des Filters zu achten. Damit die Filterschläuche die Entlastungsfläche bei der Entlastung nicht verschließen, ist ein ausreichender Abstand zwischen Schläuchen und Entlastungsfläche einzuhalten und ein entsprechendes Rückhaltesystem für die Schläuche vorzusehen. Außerhalb der Anlage ist der Bereich vor und unterhalb der Entlastungsfläche freizuhalten. Die Reichweite der Flammen kann bis 50 m betragen; die Druckwelle kann in einem Abstand von 10 m noch über 200 mbar liegen.

Die eingesetzten Entlastungsorgane müssen den Anforderungen der DIN EN 14797 entsprechen und gemäß ATEX-Richtlinie 94/9/EG als Sicherheitsorgane zertifiziert sein.

2.3 Statik und Fertigung

Festlegungen zur Fertigung von druckstoßfesten Anlagen sind in der DIN EN 14460 beschrieben. Die gewählten und zugelassenen Werkstoffe müssen die mechanischen, thermischen und chemischen Anforderungen hinsichtlich Auslegung und Betrieb des Filters erfüllen. Schweißarbeiten dürfen nur von zugelassenen und zertifizierten Schweißern durchgeführt werden. Hiervon betroffen sind auch der Zusammenbau und die Errichtung der Anlage Vorort. Die bei der Druckentlastung auftretenden Rückstoßkräfte sind bei der Auslegung der Filterunterstützungsstruktur zu berücksichtigen.

3 Explosionsentkopplungssysteme bei Kohlemahlanlagen

Im Falle einer Explosion kann es zur Explosionsübertragung über alle bestehenden Verbindungen (Förderwege, Rohrleitungen, Öffnungen) zwischen Anlagenkomponenten und in die Umgebung kommen [6]. Durch die Explosion werden Staub und Gas vorkomprimiert und die Turbulenzen verstärkt. In der nachgeschalteten Anlage (z. B. Filter nach Mühle) verursacht die daraus resultierende Flammenstrahlzündung eine wesentlich stärkere Explosion, die von den vorgesehenen Explosionsschutzsystemen des einzelnen Anlagenteils nicht kom-

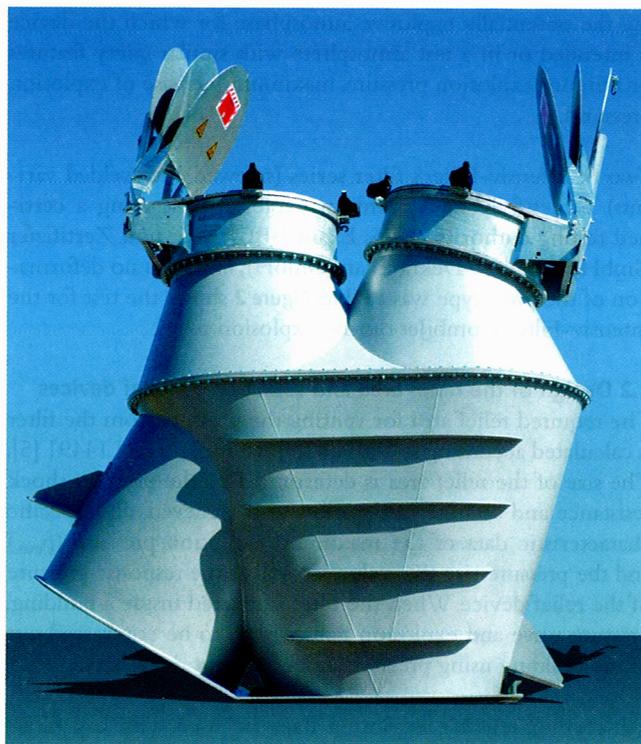
3 Explosion decoupling systems for coal grinding plants

In the event of an explosion, transfer can occur via all existing connections (conveyors, pipelines, openings) between plant components and the explosion can enter the environment. [6] The explosion leads to dust and gas being compressed beforehand and turbulence is intensified. In the downstream system (e.g. filter after the mill), subsequent flame jet ignition causes a considerably more powerful explosion, which cannot be compensated by the explosion protection systems provided for the individual plant parts. For this reason, it is important to combine suitable explosion decoupling measures with explosion protection measures for the individual systems [7].

Decoupling systems are described in DIN EN 15089. The aim of decoupling is to prevent the explosion pressure wave and a flame spreading via the connection ducts and, in combination with the explosion measures for the plant, to limit this to a safe level.

In case of coal mill dedusting plants, decoupling measures need to be provided at the pipeline between the mill and the filter and between the product discharge of the filter and the coal fines silo. Whereas decoupling of the product output can be achieved using a pressure shock resistant and flame-arresting rotary valve, with the pipeline it is important to look at the pipeline direction and dimensions more closely. However, due to the pipeline's large diameter, decoupling measures as described in DIN EN 15089 are not suitable. Explosion diverters (Fig. 4) offer an alternative here. The diverter comprises a pipe system with a relief device (e.g. rupture disc or explosion flap). Decoupling is achieved due to a change in flow direction from approx. 150° to 180° while maintaining the pressure relief by opening the relief device. Though a recurrence of ignition cannot always be reliably prevented but in rare cases where flames are transferred, the flame speed and explosion pressure can be reduced to a minimum. This precludes ignition by flame jet ignition and excessive explosion pressures so that the explosion protection measures provided in the design of the downstream system are sufficient to protect this [6]. Additionally, explosion diverters decouple in both directions of a plant – from mill to filter and from filter to mill.

Special attention needs to be paid to the length of the pipe between the coal mill and filter. Due to the arrangement of the mill close to the ground and the positioning of the filter above the coal fines silos, the pipe length between the coal mill and the filter is generally 50 up to 100 m. In case of an explosion in the mill, the explosion continues into the pipeline to the filter. Due to the enhanced pressure shock resistance of the mill, high levels of compression and turbulence may be characteristic of the dust/gas mixture. As the pipe length increases, the flame front is accelerated and the explosion pressure rises to a multiple of the initial pressure in the mill. A single explosion diverter at the filter inlet would not be capable of absorbing these forces, nor would it fulfill its function i.e. the prevention of flame jet ignition in the filter. For this reason, either the mill itself needs to be relieved, which is difficult to implement for reasons of construction, or additional relief needs to take place via a venting device directly beyond the mill in the pipeline to the filter (Fig. 5). The multi-stage decoupling system Vent# 1+2 has been validated by Thorwesten Vent in countless explosion tests and is certified as a protection system according to Atex 94/9/EU.

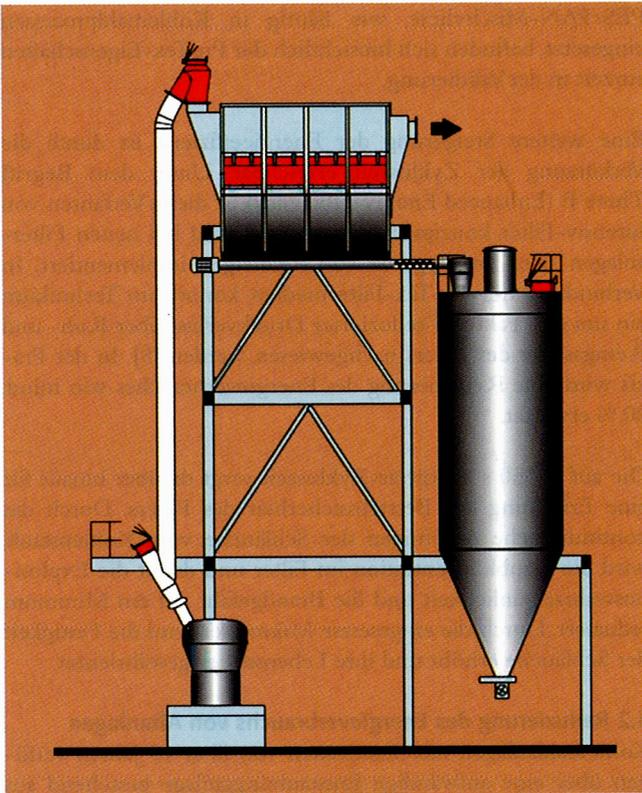


4 STT 1600/2x1150 – Largest explosion vent in the Thorwesten Vent STT series for coal grinding plants
STT 1600/2x1150 – Größter Explosionsschlot der Thorwesten Vent STT-Baureihe für Kohlemahlanlagen

pensiert werden kann. Aus diesem Grund sind geeignete Explosionssenkungsmaßnahmen mit den anlagenspezifischen Explosionsschutzmaßnahmen zu kombinieren [7].

Entkopplungssysteme werden in der DIN EN 15089 beschrieben. Ziel der Entkopplung ist die Ausbreitung einer Explosionsdruckwelle und einer Flamme über Verbindungskanäle zu verhindern bzw. in Kombination mit den Explosionsschutzmaßnahmen an der Anlage auf ein unbedenkliches Maß zu reduzieren.

Bei Entstaubungsanlagen von Kohlemühlen sind Entkopplungsmaßnahmen an der Rohrleitung zwischen Mühle und Filter sowie zwischen Produktaustrag des Filters und Feinkohlesilo vorzusehen. Während die Entkopplung des Produktausstrags durch eine druckstoßfeste und flammendurchschlagsichere Zellenradschleuse gelöst werden kann, bedarf es bei der Rohrleitung einer genaueren Betrachtung der Rohrleitungsführung und -dimensionen. Angesichts des großen Durchmessers der Rohrleitung eignen sich Entkopplungsmaßnahmen, wie in DIN EN 15089 beschrieben, jedoch nicht. Entlastungsschote (Bild 4) bieten hier eine Alternative. Der Schlot besteht aus einem Rohrsystem mit Entlastungseinrichtung (z. B. Berstscheibe oder Explosionsklappe). Die Entkopplung wird durch eine Änderung der Strömungsrichtung von ca. 150° bis 180° bei gleichzeitiger Druckentlastung durch Öffnen der Entlastungseinrichtung erzielt. Zwar kann eine neue Zündung nicht immer zuverlässig verhindert werden, aber im seltenen Falle einer Flammenübertragung kann die Flammengeschwindigkeit und der Explosionsdruck auf ein Minimum reduziert werden. Damit wird eine Flammenstrahlzündung und ein überhöhter Explosionsdruck ausgeschlossen, so dass die vorgesehenen konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen der nachgeschalteten



5 Arrangement of explosion decoupling in coal grinding plants
Anordnung der Explosionsentkopplung bei Kohlemahlanlagen

4 Energy-efficient dedusting technology for coal grinding plants

4.1 Reducing pressure losses using ProTex filter media

When looking at the degree of efficiency of a firing plant as a whole, besides combustion efficiency of firing, indirect energy consumption also needs to be taken into account. Fan power accounts for more than 80 % of energy consumption for the dust removal process with jet-pulse filters. Since the product of the volume flow and pressure loss of the system constitutes the required fan power and the volume flow is determined by the process, the pressure loss of a filter is the key to energy saving.

The greatest proportion of pressure loss in a bag filter is caused by the filter cake and irreversible deposition of particles in the filter medium. Both conditions are dependent on the composition of the cake (thickness, compression, porosity), dust and gas properties (dust and gas density, particle shape, agglomeration characteristics, moisture etc.) and the properties of the filter medium (surface composition, fibre titre, homogeneity, pore size and distribution etc.) [8].

Taking into account these conditions, Intensiv-Filter offers a special filter medium characterised by optimised surface filtration which goes under the name of ProTex. The use of micro-fibres on the filter face with a titre of < 1.5 dtex can both reduce residual pressure loss and the initial gradient of the pressure loss curve. The overall pressure loss of the system is significantly lowered and at the same time the separation efficiency is high.

For use in filters for coal grinding plants, polyester-based ProTex PES is already available and this can also be equipped with additional hydrolysis protection. Filter media from poly-

Anlage ausreichen um diese zu schützen [6]. Darüber hinaus entkoppeln Explosionsschlote in beide Richtungen eine Anlage – von Mühle zu Filter beziehungsweise Filter zu Mühle.

Besondere Beachtung ist der Rohrlänge zwischen Mühle und Filter zu schenken. Aufgrund der bodennahen Anordnung der Mühle und der Positionierung des Filters oberhalb der Feinkohlesilos beträgt die Rohrlänge zwischen Kohlemühle und Filter in der Regel 50 bis zu 100 m. Bei einer Explosion in der Mühle setzt sich die Explosion in der Rohrleitung zum Filter fort. Wegen der erhöhten Druckstoßfestigkeit der Mühle besitzt das Staub-Gas-Gemisch einen hohen Kompressionsgrad und starke Turbulenzen. Mit zunehmender Rohrlänge beschleunigt sich die Flammenfront und der Explosionsdruck steigt bis auf ein Vielfaches des Ausgangsdrucks in der Mühle an. Ein einzelner Explosionsschlot am Eintritt des Filters würde diese Kräfte nicht aufnehmen können und auch nicht seine Funktion erfüllen, d.h. die Vermeidung der Flammenstrahlzündung in das Filter. Aus diesem Grund ist entweder die Mühle selbst zu entlasten, was aus baulichen Gründen nur schwer umzusetzen ist, oder es erfolgt eine zusätzliche Entlastung durch eine Entlastungseinrichtung unmittelbar hinter der Mühle in der Rohrleitung zum Filter (Bild 5). Das mehrstufige Entkopplungssystem Vent# 1+2 wurde von Thorwesten Vent durch eine Vielzahl von Explosionsprüfungen validiert und ist als Schutzsystem nach Atex 94/9/EG zertifiziert.

4 Energieeffiziente Entstaubungstechnik für Kohlemahlanlagen

4.1 Reduzierung der Druckverluste durch ProTex-Filtermedien

Bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Wirkungsgrads einer Feuerungsanlage sind neben der Verbrennungseffizienz der Feuerung auch die indirekten Energieverbräuche zu berücksichtigen. Bei Jet-Pulse-Filtern trägt mit über 80 % die Ventilatorleistung zum Energieverbrauch des Entstaubungsprozesses bei. Da das Produkt aus Volumenstrom und Druckverlust der Anlage die erforderliche Leistung des Ventilators darstellt und der Volumenstrom verfahrensbedingt vorgegeben ist, wird der Druckverlust eines Filters zur Stellschraube der Energieeinsparung.

Der größte Anteil des Druckverlustes eines Schlauchfilters wird durch den Filterkuchen und die irreversible Partikeleinlagerung in das Filtermedium verursacht. Beide Bedingungen sind von der Kuchenbeschaffenheit (Dicke, Kuchenkompression, Porosität), den Staub- und Gaseigenschaften (Staub-, Gasdichte, Partikelform, Agglomerationsverhalten, Feuchte, etc.), sowie den Eigenschaften des Filtermediums (Oberflächenbeschaffenheit, Fasertiter, Homogenität, Porengröße und -verteilung, u. a.) abhängig [8].

Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen bietet Intensiv-Filter unter dem Namen ProTex ein spezielles Filtermedium an, welches sich durch eine optimierte Oberflächenfiltration auszeichnet. Durch Einsatz von Mikrofasern an der Anströmseite mit einem Titer < 1,5 dtex kann sowohl der Restdruckverlust als auch der initiale Gradient der Druckverlustkurve reduziert werden. Der Gesamtdruckverlust der Anlage wird bei gleichzeitig hohen Abscheidegraden signifikant gesenkt.

Für den Einsatz in Filtern für Kohlemahlanlagen steht bereits das auf Polyester basierende ProTex PES zur Verfügung, welches auch mit einem zusätzlichen Hydrolyseschutz ausgerüstet werden kann. Filtermedien aus Polyacrylnitril (PAN) bzw.

acrylo-nitrile (PAN) respectively PES/PAN blended needlefelt media as often used in coal grinding processes are currently undergoing validation with regards to ProTex properties.

A further increase in energy efficiency can be obtained by shortening the length of cleaning time. This method has been conceived by Intensiv-Filter using the name Three E (Enhanced Energy Efficiency) and is implemented with new filtering installations or when upgrading old plants. In conjunction with ProTex filter media, a pressure loss reduced by a factor of 4 could be verified in the pilot plant across the raw gas and clean gas side of the filter [8]. In practice, a minimum 20 % reduction in energy consumption is anticipated.

The reduction of length of cycle to < 150 s also ensures an increase in the operational reliability of the filter. Due to the continual cleaning of coal dust from bags, the dust concentration in the filter and hence the likelihood of explosion and fire hazard is reduced to a minimum. Due to the microfibrils used, the resistance of the bags is increased and their lifetime guaranteed.

4.2 Reducing the energy consumption of old systems

Coal grinding plants which have been in existence for more than 15 years have a complex dedusting plant comprising a separator, cyclone and downstream jet-pulse filter. Energy expended to overcome the pressure losses and operate plant components is considerable and the existing safety concept no longer corresponds to the latest state of technological development.

Extensive conversion work needs to be planned for old systems when increasing the capacity of the plant e.g. for upgrading the mills but also for adjusting the safety concept to today's standards. In such cases it is worth taking a look at the plant as whole with regards to energy efficiency and safety. In most cases, cyclones and backup fans can be removed from the system and compensated by an expansion of the existing jet-pulse filter. The safety of the system as a whole is increased considerably as the number of safety systems required is reduced due to the lower number of plant components.

With the concept developed by Intensiv-Filter and Thorwesten Vent, operating and investment costs are significantly lowered, the safety of the system is increased and the specifications of the Atex guidelines are met.

PES/PAN-Mischvliese, wie häufig in Kohlemahlprozessen eingesetzt, befinden sich hinsichtlich der ProTex-Eigenschaften zurzeit in der Validierung.

Eine weitere Steigerung der Energieeffizienz ist durch die Verkürzung der Zykluszeit erreichbar. Unter dem Begriff Three E (Enhanced Energy Efficiency) ist dieses Verfahren von Intensiv-Filter konzipiert worden und wird bei neuen Filteranlagen oder im Upgrade von Altanlagen implementiert. In Verbindung mit ProTex-Filtermedien konnte im Technikum ein um den Faktor 4 reduzierter Druckverlust über Roh- und Reingasseite des Filters nachgewiesen werden [8]. In der Praxis wird eine Reduzierung des Energieverbrauches von mind. 20 % erwartet.

Die auf < 150 s verkürzte Zykluszeit sorgt darüber hinaus für eine Erhöhung der Betriebssicherheit des Filters. Durch das kontinuierliche Abreinigen der Schläuche vom Kohlenstaub, wird die Staubkonzentration im Filter und damit die Explosionswahrscheinlichkeit und die Brandgefahr auf ein Minimum reduziert. Durch die eingesetzte Mikrofaser wird die Festigkeit der Schläuche erhöht und ihre Lebensdauer gewährleistet.

4.2 Reduzierung des Energieverbrauchs von Altanlagen

Kohlemalanlagen mit Standzeiten von über 15 Jahren verfügen über eine aufwändige Entstaubungsanlage bestehend aus Sichter, Zyklon und nachgeschaltetem Jet-Pulse-Filter. Der Energieaufwand zur Überwindung der Druckverluste und zum Betrieb der Anlagenkomponenten ist erheblich und das bestehende Sicherheitskonzept entspricht nicht mehr dem Stand der Technik.

Im Zuge der Kapazitätserhöhung der Anlage, z. B. durch Erweiterung der Mühlen, aber auch zur Anpassung des Sicherheitskonzeptes an die heutigen Standards, werden an Altanlagen aufwändige Umbauten geplant. Hier lohnt sich mit Fokus auf die Energieeffizienz und die Sicherheit, eine Gesamtbetrachtung der Anlage. In den meisten Fällen können Zyklone und Stützventilatoren aus dem System genommen werden und durch eine Erweiterung des bestehenden Jet-Pulse-Filters kompensiert werden. Die Sicherheit der Gesamtanlage wird deutlich erhöht, da die Anzahl an erforderlichen Schutzsystemen durch die Reduzierung der Anzahl an Anlagenkomponenten verringert wird.

Intensiv-Filter und Thorwesten Vent haben ein Konzept entwickelt, bei dem Betriebs- und Investitionskosten deutlich gesenkt, die Sicherheit der Anlage erhöht und die Vorgaben der Atex-Richtlinien erfüllt werden.

Literaturverzeichnis/Literature

- [1] Zement-Jahresbericht 2009–2010, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., www.bdzement.de
- [2] VDI 2263 Sheet 3: 1990–05 Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren, Beurteilung, Schutzmaßnahmen; Explosionsdruckstoß-feste Behälter und Apparate, Berechnung, Bau und Prüfung. Berlin: Beuth Verlag
- [3] DIN EN 14460: 2006–07 Explosion-resistant equipment; German Version, Berlin: Beuth Verlag
- [4] VDI 3673 Sheet 1: 2002–11 Druckentlastung von Staubexplosionen (Pressure venting of dust explosions). Berlin: Beuth Verlag

- [5] DIN EN 14491: 2006–07 Dust explosion venting protective systems; Berlin: Beuth Verlag
- [6] VDI 2263 Sheet 6: 2007–09 Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren, Beurteilung, Schutzmaßnahmen; Brand- und Explosions-schutz an Entstaubungsanlagen. Berlin: Beuth Verlag
- [7] DIN EN 15089: 2009–07 Explosion decoupling systems; Berlin: Beuth Verlag
- [8] Neuhaus, T.; Bai, P.; Schrooten, T.; Klein, G.-M.: Steigerung der Energieeffizienz in der industriellen Gasreinigung durch optimierte Oberflächenfiltration, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 70 (2010) No. 6