



*Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Gerald Koglbauer
A TEC Production & Services GmbH
Krems/Österreich
www.atec-ltd.com*

Nach dem Diplomstudium der Lebensmittel- und Biotechnologie an der Universität für Bodenkultur Wien und anschließendem Doktoratsstudium an der Universität für Bodenkultur Wien war Gerald Koglbauer zunächst von 2003–2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verfahrens- und Energietechnik der Universität für Bodenkultur tätig. 2007 wechselte er zur A TEC Production & Services GmbH, wo er seit 2009 Bereichsleiter für Entwicklung & Technologie ist.



*Dipl.-Ing. Dr. Walter Gigacher
A TEC Production & Services GmbH
Krems/Österreich
www.atec-ltd.com*

Walter Gigacher studierte zunächst Gesteinshüttenwesen an der Montanuniversität Leoben. Anschließend absolvierte er ein Doktoratsstudium am Lehrstuhl für Aufbereitung u. Veredlung der Montanuniversität Leoben, wo er von 2002-2006 als Universitätsassistent tätig war. 2006-2007 arbeitete er bei der Rigips Austria GmbH, seit 2008 ist er bei der A TEC Production & Services GmbH in der Abteilung für Spezialprojekte beschäftigt.

Klarer Fall • Clear case

Entstaubung von Prozessgasen des Zement-Pyroprozesses durch optimierte Zyklonsysteme der Firma A TEC

Zusammenfassung: Die Firma A TEC beschäftigt sich seit mehr als 10 Jahren schwerpunktmäßig mit dem Einsatz von Zyklonen im Zement-Pyroprozess und damit zusammenhängenden Prozessen. Als ein Beispiel für letztere sei hier die Vorentstaubung von Trocken- und Arbeitsgasen für Mühlenprozesse genannt. Neben den klassischen Zyklonbauformen verfügt A TEC über besondere, optimierte Bauformen bzw. Zyklonsysteme, welche über entscheidende Vorteile im Vergleich zu klassischen Zyklonen verfügen. Auch einzelne Technologien dieser besonderen Systeme, z.B. Tauchrohrleitapparate, können für die Optimierung bereits bestehender Zyklonanordnungen erfolgreich angewendet werden, wie im folgenden Beitrag dargelegt wird.

Removing dust from process gases in the cement pyroprocess with optimized A TEC cyclone systems

Summary: For over 10 years now, A TEC has focussed on the use of cyclones in the cement pyroprocess and the associated processes. One example of the latter is the preliminary removal of dust from drying and working gases for mill processes. Besides the traditional cyclone designs, A TEC supplies special, optimized designs or cyclone systems, which have crucial advantages compared to traditional cyclones. Individual technological features of these special systems, e.g. guide vanes, can be used to optimize existing cyclone installations, as described in the following paper.



Lafarge Zement in Wössingen/Deutschland
Lafarge Cement at Wössingen/Germany

1 Einleitung

Wegen der einfachen Bauweise, dem geringen Platzbedarf, der hohen Betriebssicherheit sowie den daraus resultierenden geringen Betriebs- und Investitionskosten wird der Zyklon in fast allen Industriezweigen eingesetzt. Der Haupteinsatzbereich des Zyklons liegt heute überwiegend in der Heißgas- und Hochdruckentstaubung sowie als Vorabscheider bei hohen Rohgasstaubgehalten oder als Endabscheider für leicht abzuscheidende Stäube.

Im Bereich der Mineralaufbereitung findet die Abscheidung von staubförmigem Gut aus Luft/Gas-Gemischen mittels Zyklonapparaten in Kombination mit oder ohne Absetzkammern aufgrund hoher Abscheideleistung bei gleichzeitig geringem Druckverlust als klassisches Ergänzungs- oder Hilfsverfahren ebenfalls breite Anwendung. Meist wird die Einsatzwahl direkt nach Zerkleinerungsvorgängen aus dem Blickwinkel der Vorentstaubung zur Entlastung von Klassier- bzw. Filterapparaten getroffen. Ein weiterer nicht unerheblicher Anwendungsfall stellt die Entfernung abrasiver Minerale hinsichtlich Verschleißschutz etwa von Rohrleitungen, Gebläsestationen oder auch von Mess- und Regeleinrichtungen dar.

2 A TEC Zyclone mit hoher Abscheide-Effizienz

Die A TEC Zyclone mit hoher Abscheide-Effizienz, oder auch engl. High Efficiency Cyclone (**Bild 1**), kurz A TEC-HEC genannt, unterscheiden sich von anderen Zyklonen häufig durch ihren vergleichsweise hohen Zylinderkörper. Ein weiteres Merkmal ist die Form des Eintrittsquerschnittes. Durch die Abschrägung werden Ablagerungen im Eintrittskanal verhindert und dadurch längerfristig definierte Strömungszustände am Eintritt gewährleistet.

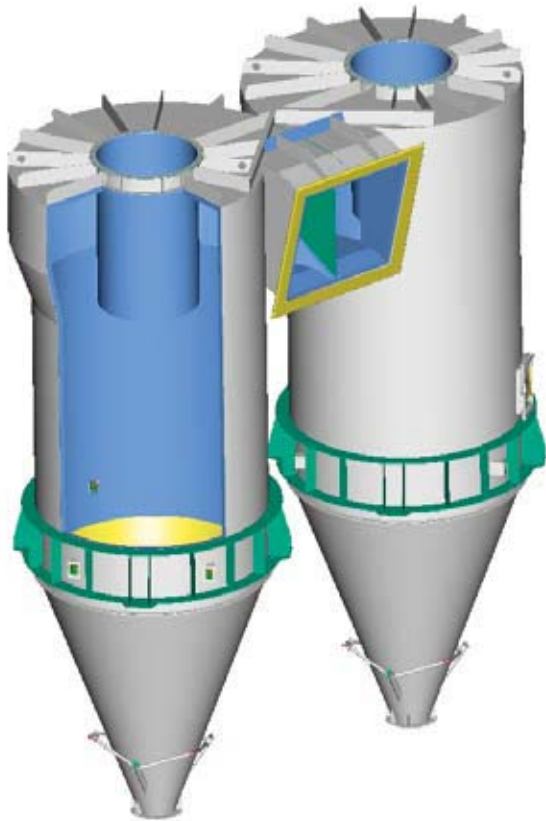
1 Introduction

On account of their simple design, limited space requirement, high operational reliability, as well as their low operating and investment costs, cyclones are used in almost all branches of industry. The cyclone's main applications today are in hot gas and high-pressure dedusting, and as a preliminary separator for raw gases with high dust loads or as a final separator for easy-to-remove dusts.

In mineral processing, the removal of dust particles from air/gas mixtures by means of cyclones in combination with or without settling chambers is widely applied as a classical supplementary or auxiliary process on account of the high separation rate and the low pressure loss. Usually they are installed immediately downstream of the comminution processes for the purpose of preliminary dedusting so as to reduce the load on sizing or filtering equipment. Another not unimportant application is the removal of abrasive minerals in order to protect pipelines, blower stations but also measurement and control equipment against wear.

2 A TEC cyclones with high separation efficiency

A TEC cyclones with high separation efficiency or High-Efficiency Cyclones (**Fig. 1**), A TEC-HEC for short, frequently differ from other cyclones on account of their comparatively high cylinder body. Another feature is the form of the inlet cross-section. The tapered form prevents the settling or caking of material in the inlet channel and, as a result, guarantees defined flow conditions at the inlet over a longer period.



1 A TEC-High Efficiency Cyclone
A TEC High-Efficiency Cyclone



2 Tauchrohrleitapparat HURRIVANE®
HURRIVANE® guide vane

3 Tauchrohrleitapparate – HURRIVANE®

Die Funktion des Tauchrohrs eines Zyklons wird am besten durch seine englische Bezeichnung „Vortex Finder“ („Wirbel-Sucher/Finder“) beschrieben. Es nimmt das sich noch in Rotation befindliche, an Feststoff abgereicherte Gas auf und führt es aus dem Zyklon ab. Dabei ergeben sich sehr ungünstige strömungsmechanische Zustände, welche sich im hohen anteilmäßigen Druckverlust des Tauchrohres widerspiegeln. Dieser kann je nach Grad der Beladung bis zu 90 % des Gesamtdruckverlustes des Zyklons ausmachen.

Tauchrohrleitapparate dienen zur Reduktion des Druckverlustes am Tauchrohr. Durch ihre Leitschaufeln (engl. „vane“) „fangen“ sie die rotierende Reingas-Strömung ein. In weiterer Folge bildet sich eine stabilisierte Wirbelröhre im Zentrum des Zyklons aus, welche nur mehr wenig Präzession aufweist. Die nun vorherrschenden Strömungszustände bewirken eine Reduktion des Druckverlustes am Tauchrohr von ca. 30 %.

Die Firma A TEC hat diese Erkenntnisse zu einem patentierten Produkt umgesetzt, dem HURRIVANE® (Bild 2). Sie bietet den HURRIVANE® weltweit Kunden als kosten- und zeiteffiziente Möglichkeit zur Nachrüstung ihrer Anlagen an. Für den Kunden ist eine Änderung der Betriebsbedingungen sofort spürbar, da sich ein deutlich reduzierter Druckverlust in den Leistungsaufnahmen der Gasförderaggregate spürbar widerspiegelt. Klassische Anwendungsfälle für HURRIVANE® sind die oberen Stufen bei Suspensions-

3 Guide vanes – HURRIVANE®

The function of the dip tube of a cyclone is best described by the term “vortex finder”. It takes the still rotating solids-laden gas and leads it out of the cyclone. This results in highly unfavourable fluidic conditions, which are reflected in the high proportional pressure loss of the dip tube. Depending on the loading degree, this can account for up to 90 % of the total pressure loss.

Guide vanes are used to reduce the pressure loss at the dip tube. With their vanes, they “trap” the rotating clean gas flow. This is followed by the formation of a stabilized vortex tube in the centre of the cyclone, which precesses more or less. The flow conditions now generated result in an around 30-% reduction in the pressure loss at the dip tube.

A TEC has translated these findings into a patented product, the HURRIVANE® (Fig. 2). It supplies HURRIVANE® worldwide to customers as cost- and time-efficient option for retrofitting to their cyclones. The customers immediately notice a change in the operating conditions, as a much reduced pressure loss is noticeably reflected in the power consumption of the gas conveying equipment. Classical applications for HURRIVANE® are the upper stages in the suspension heat exchangers. But also in mill circuits, energy savings can be achieved with these special dip tube guide vanes.

Naturally, the HURRIVANE® is particularly suitable for installation in A TEC-HEC, as a result of which, depending

Wärmetauschern. Aber auch bei Mühlenkreisläufen können durch diese speziellen Tauchrohrleitapparate energetische Einsparungen erzielt werden.

Der HURRIVANE® eignet sich natürlich besonders für den Einbau in A TEC-HEC, wodurch situationsbedingt Abscheidung und Druckverlust gleichermaßen positiv beeinflusst werden können.

4 HURRICLON® – ein besonderer Zyklon

Es ist bekannt, dass man eine Druckverlustabsenkung bei gleichbleibender Abscheideleistung nur durch die parallele Verschaltung mehrerer Zykloane bewerkstelligen kann. Eine besondere Ausgestaltung des Prinzips der Parallelschaltung zweier Zykloane ist die Bauweise des HURRICLON® (Bild 3). Beim HURRICLON® ist es gelungen, die besonderen Vorteile der Parallelschaltung mit jenen der Kompaktheit eines Einzelzyklons zu vereinen.

Der HURRICLON® verfügt wie ein klassischer Zyklon über einen Spiraleintritt, einen zylindrisches Oberteil und ein konisches Unterteil hin zum Materialaustrag. Aber der HURRICLON® verfügt im Gegensatz zu einem klassischen Zyklon über zwei Tauchrohre mit gegenüber liegenden Mündungen. Das „obere Tauchrohr“ verlässt den HURRICLON® wie bei einem klassischen Zyklon, wohingegen das „untere Tauchrohr“ nach unten geführt seitlich aus dem Konus heraustritt. Erst außerhalb werden die beiden Tauchrohre wieder zusammengeführt. Um die Strömungsverhältnisse innerhalb des HURRICLON® noch zusätzlich zu stabilisieren, befinden sich an den Tauchrohrmündungen zwei chirale HURRIVANE®.

Die Aufteilung des Volumenstromes innerhalb des HURRICLON® auf zwei Tauchrohre verringert den Durchmesser ca. um den Faktor 1,4. Dadurch ergibt sich bei Einhaltung eines üblichen Durchmesser Verhältnis von Tauchrohr zu Zylindermantel z. B. von 1 : 2 eine deutlich schlankere Bauform. Der kleinere Zylindermanteldurchmesser wirkt sich indirekt proportional auf die auftretenden Zentrifugalkräfte aus; das heißt sie erhöhen sich bei sinkendem Zylindermanteldurchmesser. Neben diesem entscheidenden Vorteil in Bezug auf die Abscheideleistung verfügt der HURRICLON® aufgrund der mittels HURRIVANE® stabilisierten Strömung über einen vergleichsweise geringen Druckverlust, welcher je nach Bauform und Anwendungsfall um bis zu 50 % geringer ausfallen kann als bei einem klassischen Zyklon gleicher Leistung.

5 Prozessgasentstaubung im Zement-Pyroprozess

Aufgrund der bekannten Schwächen der Zykloane in Bezug auf die Abscheidung von Feinststäuben, wird der Einsatz von Zykloanen als letztes Entstaubungsorgan vor der Freisetzung der Gase in die Umwelt praktisch nicht mehr angewendet. Aber gegensätzlich dazu ist der Zyklon aufgrund seiner Robustheit und Kosteneffizienz als Trennapparat innerhalb von Gas-(Kreis-)Prozessen nicht wegzudenken. Einer dieser Prozesse bzw. dessen Teilprozesse, in welche nachfolgend eingegangen wird ist der Zement-Pyroprozess.



3 Schema eines HURRICLON®
Schematic showing a HURRICLON®

on the situation, separation and pressure loss are both positively influenced.

4 HURRICLON® – a special cyclone

As is widely known, a reduction in the pressure loss with a constant separation rate can only be realized with the parallel connection of more than one cyclone. A special design based on the principle of parallel connection of two cyclones is represented by the HURRICLON® (Fig. 3). In the HURRICLON®, A TEC has succeeded in combining the particular advantages of parallel connection with the compactness of a single cyclone.

Like a classical cyclone, the HURRICLON® has a spiral inlet, a cylindrical top section and a conical bottom section down to the material discharge. But in contrast to a classical cyclone, the HURRICLON® has two dip tubes with openings lying opposite. The “upper dip tube” leaves the HURRICLON® as in a classical cyclone, whereas the “lower dip tube” is led down and exits the conical section from the side. Only outside the cyclone are the two dip tubes brought together again. To additionally stabilize the flow conditions within the HURRICLON®, there are two chiral HURRIVANES® are fitted at the openings of the dip tubes.

The splitting of the volume flow inside the HURRICLON® between two dip tubes reduces the diameter by a factor of around 1.4. As a result, providing the usual diameter ratio of



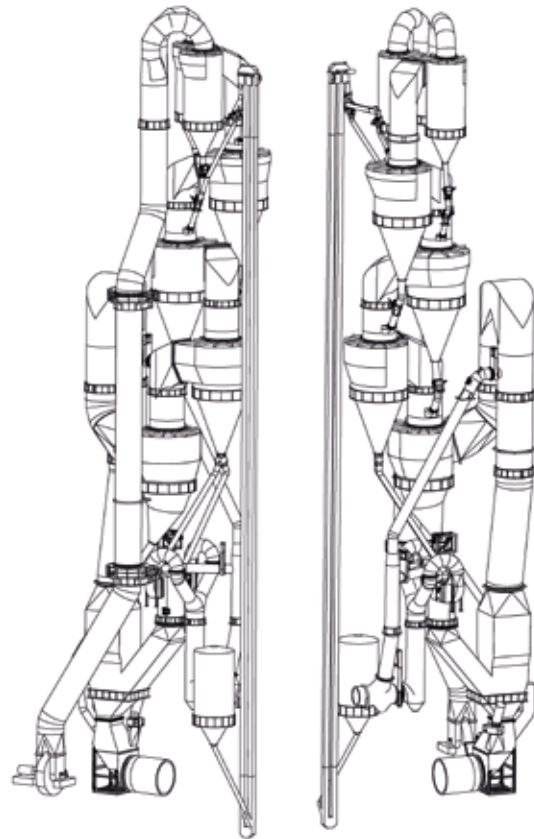
4 A TEC Suspensions-Wärmetauscher bei Lafarge Zement
A TEC suspension heat exchanger at Lafarge Cement

5.1 Phasentrennung im Suspensions-Wärmetauscher

Stand der Technik für die Rohmehlvorwärmung im Zement-Pyroprozess ist die Anwendung eines Suspensions-Wärmetauschers (Bild 4). Dem Suspensions-Wärmetauscher liegt ein diskontinuierliches Gegenstromprinzip zu Grunde. Das bedeutet für die Prozessführung, dass nach jedem Gas-Feststoff-Wärmeaustausch in der Suspension, diese wieder getrennt wird. Sowohl das nun kühlere Gas und der nun wärmere Feststoffe gehen in die entgegengesetzte nächste Stufe.

In dieser Kaskade von 4, 5 oder 6 Zyklonstufen (Bild 5) werden die Zyklone der unteren Stufen überwiegend auf einen minimalen Druckverlust ausgelegt. Nur der Zyklon bzw. die Zyklone der obersten Stufe sind in Richtung Abscheidung optimiert. Der daraus resultierende Druckverlust dieser Stufe, kann bis zu 30 % des Gesamtdruckverlustes des Wärmetauscherturmes betragen. Das stellt natürlich eine besondere Herausforderung dar, da sich die Korngrößenverteilung durch die endliche Abscheidung der unteren Stufen signifikant in Richtung des Feinstmaterialanteils verschiebt. Daher ist in der obersten Stufe bei einem moderaten Druckverlust trotz A TEC-HEC mit Abscheideleistungen von „nur“ 93 % zu rechnen. Für die Zyklone der unteren Stufen liegen die Abscheideleistungen zwischen 80 % und 90 %.

Zur Optimierung des Druckverlustes bei gleicher Abscheideleistung wird der Einbau von HURRIVANE® empfohlen. Weiters ist auch der Einsatz von HURRICLON®



5 Schema der Zyklonkaskade eines Suspensions-Wärmetauschers
Schematic showing a cyclone cascade of a suspension heat exchanger

dip tube to cylinder casing, e.g. of 1:2, is maintained, a much slimmer design is obtained. The smaller cylinder casing diameter has an indirectly proportional effect on the generated centrifugal forces, i.e. these increase with decreasing cylindrical casing diameter. Besides this crucial advantage in respect of the separation rate, thanks to the stabilized flow achieved with the HURRIVANE®, the HURRICLON® exhibits a comparatively low pressure loss, which, depending on the specific model and application, can be up to 50 % lower than in a classical cyclone with the same capacity.

5 Removing dust from process gas in the cement pyroprocess

On account of the known weaknesses of the cyclones in respect of the removal of very fine dusts, cyclones are practically no longer used as the last dedusting unit prior to the release of the gases into the environment. But in contrast to this, thanks to its ruggedness and cost efficiency, the cyclone is now indispensable a separating unit in gas circulation processes. One of these processes or its sub-processes is the cement pyroprocess, which is explained in detail in the following.

5.1 Phase separation in the suspension heat exchanger

State of the art for pre-heating the raw meal in the cement pyroprocess is the application of a suspension heat exchanger (Fig. 4). The suspension heat exchanger is based on a discontinuous counterflow principle. For the process flow, this

als Abschlusszyklon der Kaskade eine Möglichkeit den Gesamtdruckverlust zu reduzieren.

5.2 Klinkerkühlerabgasentstaubung

Die Anwendung von Rostkühlern zur kontrollierten Abkühlung des Zementklinkers nach dem Ofen bringt einen heißen Abluftstrom mit sich, welcher nicht wieder z.B. in Form von Sekundär- und Tertiärluft in den Pyroprozess rückgeführt werden kann. Die Temperatur dieses Abgasstromes liegt bei 150° bis 400°C, also bei Temperaturen, welche für Trocknungs- und/oder Mahlvorgänge hervorragend geeignet sind. Natürlich ist das Abgas, wenn es aus dem Kühler kommt, mit Klinkerstaub beladen. Die Abscheidung dieses Staubes bedient zwei Ziele, zum Einen die Rückgewinnung des Produktes und zum Anderen die Reinigung der Abluft. Letzteres soll den Verschleiß durch den Klinkerstaub und die Kontamination des zu trocknenden Produktes mit Klinkerstaub minimieren.

Je nach Art des Abluftfilters hat die Vorentstaubung z.B. mittels HURRICLON® verschiedene Auswirkungen auf den nachgeschalteten Filtern. Handelt es sich um einen Elektrofilter, so reduziert sich durch die Vorabscheidung der spezifische elektrische Widerstand der Suspension und die Filterleistung steigt bzw. die Leistungsaufnahme pro Filterfläche sinkt. Bei einem Gewebefilter muss dagegen stark auf die Temperatur geachtet werden, dass diese an die 230°C nicht längere Zeit überschreitet. Im Gasstrom mitgerissene Partikel können aber über eine wesentlich höhere Temperatur verfügen. Gelangen diese auf das Gewebe in den Filtern, so schädigen sie dieses durch die anhaltende punktuelle thermische Belastung. Der vorgeschaltete HURRICLON® entfernt nun in beiden Fällen diese Partikel, ohne das Filtergebläse mit einem signifikant höheren Druckverlust zu belasten.

5.3 Komplexere Zyklon/HURRICLON®-Abscheider-Systeme

Bekannterweise ist die Abscheideleistung eines Zyklons wesentlich von den darin vorherrschenden Flieh- und Trägheitskräften abhängig. Diese wiederum sind abhängig von geometrischen und strömungsmechanischen Faktoren. Daraus begründet sich, dass ein Zyklon nur für einen einzigen Betriebszustand optimal dimensioniert werden kann. Davon abweichende Betriebszustände zeigen unmittelbar ihre Auswirkung auf den Druckverlust und die Abscheideleistung. Beispielsweise eine Verringerung des Volumenstromes führt zur Verringerung aller Geschwindigkeitsvektoren und somit zu einer Reduzierung des Druckverlustes aber auch der Abscheideleistung. Aber auch die Änderung der Gastemperatur hat Auswirkungen, da sich Dichte und Viskosität des Gases und folglich der Partikelsuspension verändern.

Um jetzt bei gegebener Zyklon- bzw. HURRICLON®-Geometrie permanent innerhalb des optimalen Betriebszustandes zu bleiben, setzt ATEC ein spezielles Kreislaufsystem ein. Im Prinzip wird ein Teilstrom des Reingases bei Bedarf zum Zyklon- bzw. HURRICLON®-Eintritt zurückgeführt. Zur geregelten Förderung des Gasvolumens und Überwindung der Druckdifferenz wird ein weiteres Gebläse verwendet. Der so erzeugte, nahezu konstante Volumenstrom am Eintritt gewährleistet nachvollziehbare Strömungsverhältnisse im Zyklon und somit gleichbleibenden Druckverlust

means that after every gas-solids heat exchange in the suspension, this is re-separated. Both the now cooler gas and the warmer solids go in to the next stage opposite.

In this cascade of 4, 5 or 6 cyclone stages (Fig. 5), the cyclones of the lower stages are mostly designed for a minimum pressure loss. Only the cyclone or cyclones of the upper stage are optimized for separation. The resulting pressure loss of this stage can account for up to 30 % of the total pressure loss of the heat exchanger tower. Naturally, this is a particular challenge, as the particle size distribution is shifted significantly in the direction of the ultrafine material sizes by the separation at the end of the lower stages. For that reason, in the top stage with a moderate pressure loss, despite A TEC-HEC, separation rates of “only” 93 % can be expected. For the cyclones of the lower stages, the separation rates lie between 80 % and 90 %.

For optimization of the pressure loss with the same separation rate, the installation of the HURRICLON® is recommended. Further, the installation of a HURRICLON® as the final cyclone in the cascade is one possibility for reducing the overall pressure loss.

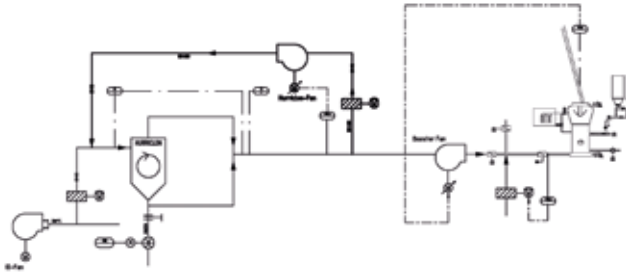
5.2 Clinker cooler waste gas dedusting

The application of grate coolers for the controlled cooling of cement clinker after the kiln brings with it a hot current of flue gas, which cannot be recirculated into the pyroprocess, e.g. in the form of secondary and tertiary air. The temperature of the this waste gas flow ranges between 150° and 400°C, i.e. at temperatures which are ideally suitable for drying and/or milling processes. Naturally, the waste gas is laden with clinker dust when it exits the cooler. The removal of this dust serves two purposes, first recovery of the product and secondly the cleaning of the waste air. The latter is intended to minimize wear caused by clinker dust and contamination of the product to be dried with clinker dust.

Depending on the type of waste air filter, preliminary dedusting e.g. with a HURRICLON® has various effects on the downstream filters. If electrostatic filter is used, then thanks to preliminary dust removal, the specific electrical resistance of the suspension and the filter rate increases or the power input per filter surface area unit decreases. With a cloth filter, it is particularly important to ensure the temperature does not exceed 230°C for long periods. Particles entrained in the gas flow can, however, have a much higher temperature. If these reach the cloth in the filters, they damage it on account of the sustained punctiform thermal load. In both cases, the upstream HURRICLON® removes these particles, without burdening the air filter compressor with any significantly higher pressure loss.

5.3 More complex cyclone/HURRICLON® separation systems

It is known that the separation rate of a cyclone depends essentially on the centrifugal and inertia forces acting in it. These depend in turn on geometrical and fluidic factors. This explains why a cyclone can only be optimally dimensioned for one single operating state. Any deviating operating states show an immediate effect on the pressure loss and the separation rate. For example, a reduction of the volume flow



6 Vereinfachtes Fließbild einer Opti-Coal®-System-Anwendung
Simplified flowsheet showing an Opti-Coal® system application

und vor allem Abscheideleistung. Der Einsatz eines solchen Systems erfolgt zumeist bei der Entstaubung niedrig beladener Gase, wo vorwiegend die Abscheidung im Zyklonwirbel mittels Fliehkräfte erfolgt. Daher ist hier die Erhaltung der Geschwindigkeitsvektoren ganz wesentlich. Zumal gehen deren gerichtete Beiträge zur 2. Potenz in die Zentrifugalkräfte ein, welche auf die beschleunigten Teilchen wirken.

A TEC bietet ein derartiges System für die Nachentstaubung von Suspensions-Wärmetauscherabgas von Zementpyrolinien an, welches für die Trocknung und als Arbeitsgas bei Brennstoffmühlen verwendet wird. Dieses System wird unter dem Namen Opti-Coal® vertrieben. Man verwendet Wärmetauscherabgas gerne für Brennstoffmühlen, da es nur geringe Mengen an Sauerstoff enthält und sonst überwiegend aus Stickstoff und Kohlendioxid besteht. Aber dieses Gas ist aufgrund der endlichen Abscheidung der Zyclone bzw. HURRICLON® immer noch mit Feinpartikel beladen, welche die oberste Zyclonstufe des Suspensionswärmetauscher passiert haben. Die Entfernung mittels Filtersystemen brächte zwar eine gute Entstaubung, aber neben immensen Investitionskosten einen vergleichsweise hohen Druckverlust mit sich. Daher wird hier üblicherweise das wirtschaftlich arbeitende Opti-Coal®-System eingesetzt. Kern der Opti-Coal® Technologie ist der HURRICLON®, welcher aufgrund seiner besonders schlanken Geometrie hohe Zentrifugalkräfte in der Fliehkraftabscheidung ermöglicht. Zudem verfügt er über einen vergleichsweise geringen Druckverlust, was sich günstig auf die Leistungsaufnahme einerseits des Umluftgebläses und andererseits auf des Fördergebläses auswirkt. Die Abscheideleistung beträgt im Schnitt 60 %, abhängig von der Beladung auch darüber. Das ist unabhängig vom tatsächlichen Volumenstrom, da die Geschwindigkeit am Eintritt des HURRICLON® durch das Kreislaufsystem nahezu konstant gehalten wird (Bild 6).

6 Auslegungskriterien

6.1 Allgemeine Auslegungskriterien

Unabhängig davon, ob eine Auslegung für einen Zyklon, z.B. A TEC-HEC, oder einen HURRICLON® erfolgt, sind die wesentlichen Betriebsdaten erforderlich wie:

- Gasvolumenstrom
- Eintrittsbeladung der Gas-Feststoff-Suspension
- Korngrößenverteilung des Feststoffes
- Mittlere Partikeldichte des Feststoffes

leads to the reduction of all velocity vectors and therefore to a reduction of the pressure loss but also a fall in the separation rate. But also the change in the gas temperature has certain effects as the density and viscosity of the gas and consequently the particle suspension change.

Now, to remain permanently within the optimal operating state for a given cyclone or HURRICLON® geometry, A TEC uses a special circulation system. In principle, a sub-flow of the clean gas is recirculated to the cyclone or HURRICLON® inlet when required. For controlled conveying of the volume of gas and to overcome the pressure difference, another blower is used. The almost constant volume flow generated at the inlet guarantees acceptable flow conditions in the cyclone and therefore a uniform pressure loss and above all a uniform separation rate. Such systems are used mainly in the dedusting of gases with low loads, where separation is performed mainly in the cyclone vortex by means of centrifugal forces. For this reason, it is important to maintain the velocity vectors. Especially since their directed contributions go to the second power into the centrifugal forces, which has an effect on the accelerated particles.

A TEC supplies such a system for the re-dedusting of suspension heat exchanger flue gas of cement pyrolines, which is used for drying and as a working gas in fuel mills. This system is supplied under the name Opti-Coal®. Heat exchanger waste gas is often used for fuel mills as it only contains low quantities of oxygen and consists mainly of nitrogen and carbon dioxide. But on account of the separation at the end of the cyclones or /HURRICLON®, this gas is still loaded with fine particles that have passed through the top cyclone stage of the suspension heat exchanger. Removal by means of a filter system would ensure effective dedusting, but besides the immense investment costs, this would also result in a comparatively high pressure loss. For this reason, here the economically efficient Opti-Coal® system is used. Core of the Opti-Coal® technology is the HURRICLON®, which thanks to its especially slim shape enables high centrifugal forces in centrifugal separation. In addition it exhibits a comparatively low pressure loss, which as a positive effect on the power consumption of the circulating air blower on the one hand and the conveying blower on the other. The separation rate averages 60 %, depending on the load, sometimes even more than this. That is independent on the actual volume flow as the speed at the inlet to the HURRICLON® is kept almost constant by the circulation system (Fig. 6).

6 Design criteria

6.1 General design criteria

Depending on whether the design is drawn up for a cyclone, e.g. A TEC-HEC, or a HURRICLON®, key operating data are necessary such as:

- Gas volume flow
- Entry load of the gas-solid suspension
- Particle size distribution of the solids
- Mean particle density of the solids

- Thermodynamische Gasdaten: Temperatur, Viskosität, Dichte, Gasfeuchte

Die weiteren benötigten Geometriedaten sind in der Regel durch die einsatzspezifischen Apparate-Baureihen vorgegeben. Ob die Auswahl der Apparategröße in die richtige Richtung geht, kann sehr einfach über die berechnete Eintrittsgeschwindigkeit und die mittlere Zentrifugalbeschleunigung abgeschätzt werden. Die Eintrittsgeschwindigkeit sollte zwischen 18 und 20 m/s liegen und gleichzeitig die mittlere Zentrifugalbeschleunigung 100 g keinesfalls unterschreiten. Ist dies nicht der Fall, so muss die Apparateanordnung überdacht werden und ggf. anstatt eines Zyklons/HURRICLONs® zwei in Parallelschaltung verwendet werden. Derartige Probleme treten häufig bei Scale-Ups bestehender Anlagen auf.

6.2 Besonderheiten bei der Auslegung des HURRICLON®

Die Besonderheit, dass der HURRICLON® zwei Tauchrohre besitzt, wirkt sich auch auf seine Berechnung aus. Durch seinen kleineren Zylinderdurchmesser sind die äußere (Spiraleinlauf) und die innere Umlaufgeschwindigkeit um den Faktor 1,1 bis 1,25 höher als bei einem klassischen Zyklon gleicher Volumenleistung.

Es wurde wiederholt bewiesen (G. Staudinger, J. Keuschnigg, and M. Klupak, TU Graz & VA-Krems, 1991), dass für einen Zyklon mit zentralem Zylinder, was der Geometrie eines HURRICLON® entspricht, die gebräuchlichen Berechnungsmethoden für u_i , Δp_i und d^* nicht anwendbar sind. Darum erfolgt die Auslegung von HURRICLON® nur angelehnt an die gängigen Zyklonberechnungsmethoden (z. B. VDI). Durch langwierige Versuche wurden die einzelnen Werte für Druckverlust und die Fraktionsabscheidegrade experimentell ermittelt, aus welchen halbempirische Korrekturterme hervorgingen. Ohne diese Korrekturterme ist in der Berechnung von Druckverlust und Abscheidung eines HURRICLON® nicht durchführbar.

- Thermodynamical gas data: temperature, viscosity, density, gas moisture content

The other geometry data needed are generally dictated by the application-specific model series. It is generally possible to estimate whether the selected size of the unit is appropriate on the calculated inlet velocity and the mean centrifugal acceleration. The inlet velocity should range between 18 and 20 m/s and at the same time the mean centrifugal velocity should by no means fall below 100 g. If this is not the case, the equipment must be covered over and if necessary, instead of one cyclone/HURRICLON®, two parallel-connected units should be used. Such problems often occur in the scale-up of existing plants.

6.2 Special features in the design of the HURRICLON®

The special feature of the HURRICLON® with its two dip tubes has an effect on its design. On account of the smaller cylinder diameter, the outer (spiral inlet) and the inner circumferential speed are higher by a factor of 1.1 to 1.25 than in a traditional cyclone with the same volume rate.

It has been repeatedly proven (G. Staudinger, J. Keuschnigg, and M. Klupak, TU Graz & VA-Krems, 1991) that for a cyclone with a central cylinder, which corresponds to the geometry of a HURRICLON®, the usual calculation methods for u_i , Δp_i and d^* are not applicable. For this reason, the design of the HURRICLON® is only roughly based on the common cyclone design methods (e.g. VDI). With protracted tests, the individual values for pressure loss and the fraction separation efficiencies were determined empirically, from which semi-empirical correction terms were derived. Without these correction terms, it is not possible to calculate the pressure loss and separation rate of a HURRICLON®.