

ZKG Fachexkursionen – der direkte Kontakt zu international erfolgreichen Unternehmen!



Mit ZKG bieten wir regelmäßig Fachexkursionen mit einer anschließenden Werksbesichtigung vor Ort in einem Zementwerk an.

Informieren Sie sich über ein ganz besonderes Fachgebiet des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus.

Studenten aus den Fachbereichen Verfahrenstechnik und Maschinenbau lernen mögliche Arbeitgeber von morgen kennen!

Es erwarten Sie

- » technische Fachvorträge und Firmenpräsentationen
- » Werks- und Steinbruchbesichtigungen
- » Tipps zu Karrierechancen im Maschinen- und Anlagenbau
- » Direkte Kontakte zu den Personalleitern

ZKG-Handbuch Zementanlagenbau 2015/2016 Leitfaden für Einsteiger in die Zementindustrie



ZKG-Handbuch Zementanlagenbau 2015/2016
Leitfaden für Einsteiger in die Zementindustrie

ZKG-Handbuch Zementanlagenbau 2015/2016
Leitfaden für Einsteiger in die Zementindustrie

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Impressum

Herausgeber:
Bauverlag BV GmbH, Gütersloh

Redaktionelle Betreuung:
Anett Fischer, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh
Anke Bracht, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh

Bildnachweise
Titelbild: Dyckerhoff GmbH
Rückseite: Anett Fischer, ZKG

Gestaltung, Satz und Litho:
Daniela Stender, Nicole Sielaff
Mohn Media Mohndruck GmbH, Gütersloh

Druck:
Merkur Druck, Detmold

Handbuch Zementanlagenbau 2015/2016
Leitfaden für Einsteiger in die Zementindustrie

© 2015 Bauverlag BV GmbH, Gütersloh
Geschäftsführer: Karl-Heinz Müller
Eingetragen im Amtsgericht Gütersloh HRB 4172

ISBN 978-3-7625-3669-7
1. Auflage
www.zkg.de



ZKG-Handbuch Zementanlagenbau 2015/2016

Leitfaden für Einsteiger in die Zementindustrie

EDITORIAL

- 6 Dyckerhoff GmbH
- 7 ZKG International

EXCURSION

- 8 **Vom Drehrohrofen zum Speed Dating**
Dipl.-Ing. Anett Fischer, ZKG International

PRODUCTION

- 16 Übersicht
- 17 Rohmaterialgewinnung und -aufbereitung
- 20 Klinkerherstellung
- 22 Zementvermahlung und Sortenherstellung
- 25 Zementlagerung, Verpackung und Versand
- 28 Automation und Qualitätsüberwachung
- 30 Umwelttechnik und Emissionen

INTERVIEW

- 32 **Bauchemie-Forschung an der TU München**
Interview mit Prof. Dr. Johann Plank, TU München

MATERIALS

- 36 **Bewertung von Rohstoffen für die industrielle Herstellung von Kalk**
Gabriele Vola, Geologie, Process & Laboratory Unit, Cimprogetti S.p.A., Dalmine/Italien
Luca Sarandrea, Technischer Leiter, Cimprogetti S.p.A., Dalmine/Italien

ENGINEERING

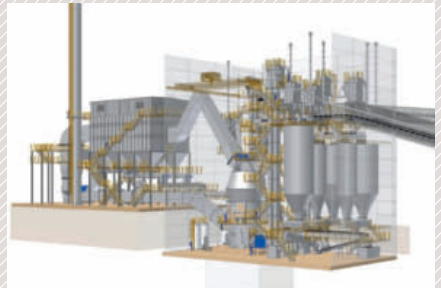
- 46 **Die Drei-Stufen-Umbau-Strategie**
Dipl.-Ing. Peter Müller, AUMUND Fördertechnik GmbH, Rheinberg

PROCESS

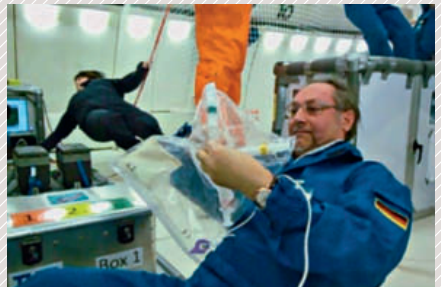
- 54 **Smarte Feuerfestlösung für spannungsbelastete Drehöfen**
Dipl.-Ing. Dr. Hans-Jürgen Klischat, Leiter Forschung & Entwicklung, Qualitätsmanagement, Dr. Carsten Vellmer, Produktentwicklung geformte Feuerfestprodukte, Dipl.-Ing. Holger Wirsing, Leiter Produktentwicklung geformte Feuerfestprodukte, Refratechnik Cement GmbH, Göttingen
- 64 **Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in modernen Zementwerken**
Dr. Hubert Baier, WhiteLabel-TandemProjects e.U., Telgte



// Seite 8
Vom Drehrohrofen zum Speed Dating



// Seite 16
Zementvermahlung und Sortenherstellung



// Seite 32
Bauchemie-Forschung an der TU München



// Seite 54
Smarte Feuerfestlösung für spannungsbelastete Drehöfen

- 74 **Betriebserfahrungen mit der Pfeiffer MVR-Walzenschüsselmühle und dem MultiDrive®**
 Dr.-Ing. Caroline Woywadt, Head of Process Engineering Department, Bernd Henrich, Area Manager, Gebr. Pfeiffer SE, Kaiserslautern
- 82 **Optimierung von Kalzinatoren in der Zementindustrie**
 Matthias Mersmann, aixergee Prozessoptimierung, Aachen
- 92 **Herstellung von Weißzement nach dem neuesten Stand der Technik**
 Claus Bech, TechnicalCenter, Cementir Holding, Rom/Italien
- 100 **Anforderungen an die umweltgerechte und nachhaltige Herstellung von Zementklinker**
 Dr. Heiko Schürmann, KHD Humboldt Wedag, Köln
- INTERVIEW**
- 112 **Reduzierung der Quecksilberemissionen im Zementwerk Wietersdorf**
 Interview mit Dipl.-Ing. Florian Salzer, W&P Zement GmbH, Wietersdorf/Österreich
- PROCESS**
- 116 **Breaking the mercury cycle for emission abatement with the “ExMercury – Splitted Preheater System”**
 Dr. Stefan Kern¹, Dipl.-Ing. Florian Salzer², Dipl.-Ing. Holger Reinhold³
¹ A TEC Production and Services GmbH, Gödersdorf/Austria
² W&P Zement GmbH, Wietersdorf/Austria
³ Process Technology Industrial Minerals, Scheuch GmbH, Auroldmünster/Austria
- MARKETS AND TRENDS**
- 126 **Impact of clinker coolers on downstream equipment**
 Dr. Joachim Harder, OneStone Consulting S.L., Barcelona/Spain
- UNTERNEHMENS PORTRAITS/ STELLENMARKT**
- 138 **Aumund**
- 140 **Beumer**
- 141 **Dyckerhoff**
- 142 **Koepfer**
- 144 **Loesche**
- 145 **Christian Pfeiffer Maschinenfabrik**
- 146 **FLSmidth Pfister**
- 148 **Refratechnik**
- 150 **Schenck Process**



// Seite 74

Betriebserfahrungen mit der Pfeiffer MVR-Walzenschüsselmühle und dem MultiDrive®



// Seite 100

Anforderungen an die umweltgerechte und nachhaltige Herstellung von Zementklinker



// Seite 116

Breaking the mercury cycle for emission abatement with the “ExMercury – Splitted Preheater System”



// Seite 126

Impact of clinker coolers on downstream equipment

Junge Menschen schon früh begeistern

Vor rund 140 Jahren wurde unser Werk in Lengerich, im Nordwesten Deutschlands, gegründet. Seit 1931 gehört es zum Unternehmen Dyckerhoff, das in Deutschland sieben Zementwerke und rund 130 Transportbetonwerke betreibt. Dyckerhoff ist Teil der italienischen Buzzi Unicem Gruppe und einer der führenden Hersteller von Zement und Transportbeton in Deutschland. Buzzi Unicem betreibt Werke in 12 Ländern mit weltweit über 10000 Mitarbeitern.

Das Werk Lengerich zählt mit einer Kapazität von 1,8 Mio. t zu den größten und modernsten Zementwerken in Deutschland. Wir produzieren verschiedene Zementsorten für alle wesentlichen Einsatzbereiche im Hoch- und Tiefbau sowie Spezialbindemittel, Putz- und Mauerbinder. Unser Aushängeschild ist der Tiefbohrzement, den wir an Kunden in aller Welt versenden. Dyckerhoff-Tiefbohrzement setzt seit mehr als 60 Jahren weltweit Maßstäbe für Qualität hinsichtlich Gleichmäßigkeit und Anwendungseignung. Das Werk Lengerich zählt weltweit zu den größten Herstellern von Tiefbohrzement und ist der einzige Produzent in Deutschland.

Solides Fachwissen, Enthusiasmus und der stete Wille, Gutes noch besser machen zu wollen, sind seit jeher unser Antrieb und unser Fundament. Damit wir auch für die Zukunft gut aufgestellt sind, kümmern wir uns schon früh um Nachwuchs. Wir engagieren uns bei der Ausbildung mit einer eigenen Ausbildungswerkstatt und hauptberuflichen Ausbildern. So können wir ein Höchstmaß an Intensität der Ausbildung und eine ideale Vorbereitung auf den späteren Beruf sicherstellen.

Darüber hinaus unterstützen wir mittels Stipendien junge Studenten an der Fachhochschule Münster bei ihrer Ausbildung und unterstützen Forschungsprojekte mit Universitäten und Fachhochschulen.

Deshalb war es für uns auch selbstverständlich, die Fachzeitschrift ZKG International bei ihrer Fachexkursion 2015 zu unterstützen. Unser Werk Lengerich bot am 9. und 10. Juni 2015 45 Studentinnen und Studenten der Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Hamburg, der Hochschule Koblenz und der Technischen Fachhochschule Georg Agricola, Bochum, die Chance, ein Zementwerk im Betrieb zu sehen. Die Studierenden konnten in unserem Werk hautnah die einzelnen Verfahrensschritte der Zementherstellung mitverfolgen – und das taten sie auch begeistert. Zudem hatten sie Gelegenheit, in die für sie interessanten Arbeitsgebiete zu schnuppern.

In der heutigen Zeit ist es besonders wichtig, bereits die Jugend für das Unternehmen zu begeistern. Denn wir brauchen junge Menschen, die sich Herausforderungen stellen und mit uns innovative Wege gehen wollen. Sie sind unsere Zukunft.



Franz-Josef Barton



Franz-Josef Barton, Direktor, Leiter Werksgruppe Nord, Dyckerhoff GmbH

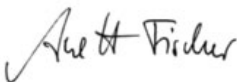
„Ich hätte nie gedacht, ...

... dass es in einem Zementwerk so interessant ist!“ Diese Aussage habe ich während unserer diesjährigen ZKG Fachexkursion ins Zementwerk Lengerich der Dyckerhoff GmbH ein paar Mal von erstaunten und beeindruckten Studierenden gehört.

Ja, nicht nur die Autoindustrie, deren imposante und saubere Bandstraßen oft in den Nachrichten vorgeführt werden, hat tolle Arbeitsplätze. Auch die graue Zementindustrie und ihre Zulieferer bieten Ingenieur-, Bachelor- und Masterabsolventen gute Chancen, in hochmodernen Anlagen Verantwortung zu übernehmen und vor allem, selbstständige Entscheidungen zu treffen. Gerade letzteres ist ein bedeutendes Merkmal unserer Branche, das wir stärker präsentieren müssen. Bei uns optimiert der Hochschulabgänger nicht jahrelang ein winziges Rädchen im großen Getriebe, sondern verantwortet Produktionsanlagen im Wert von mehreren Millionen Euro. Im Wettbewerb mit anderen Arbeitgebern, sowohl im Maschinenbau als auch in der Zementindustrie, müssen wir die Studierenden früh für unsere Branche begeistern. Die meisten waren noch nie in einem Zementwerk und sind von der Größe und Leistung der modernen, automatisierten Anlagen sehr angetan. Unseren diesjährigen Fachexkursionsteilnehmern war die zweistündige Werksführung in Lengerich teilweise zu kurz. Sie hätten gern noch mehr Praxis gesehen und erfahren. Dass immer neue Studierende in den kommenden Jahren auch Begeisterung für die Branche entwickeln, ist unser aller Aufgabe. Wir als Organisatoren brauchen dafür die Unterstützung der Industrie, sowohl die der Zementwerke als auch die der Zulieferer.

In unserem diesjährigen Studentenhandbuch, das auch jeder Teilnehmer der Fachexkursion bekommt, haben wir eine große Bandbreite interessanter Berichte aus der Branche zusammengefasst. Für die Studierenden besonders interessant ist sicher das Interview mit Dipl.-Ing. Florian Salzer, Head of Technology, W&P Zement GmbH, Wietersdorf/Austria. Er berichtet uns über die Entwicklung und die Ergebnisse eines zukunftsweisenden Pilotprojektes. Im Gespräch mit ihm hat mich besonders fasziniert, wie selbstverständlich dieser erst 30-jährige Leistungsträger Verantwortung übernimmt, selbst Ideen entwickelt, diese umsetzt und andere mitreisst. Das können Sie als Absolvent in unserer Branche auch!

Liebe Studierende, Sie werden sich wundern! In diesem Jahr sind erstmals zwei unserer Berichte auf Englisch. Die Zement- und ihre Zuliefererindustrie sind global aufgestellt. Das bietet viele Möglichkeiten, auch im Ausland Erfahrungen zu sammeln. Lesen Sie sich beim Fachvokabular schon mal ein! Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre, alles Gute und viel Erfolg für Ihre Zukunft und hoffe, dass wir uns in der Branche sehen.



Ihre
Anett Fischer
Editor-in-Chief ZKG International



Anett Fischer

Vom Drehrohrofen zum Speed Dating

TEXT Dipl.-Ing. Anett Fischer, ZKG International



1–6: Anett Fischer, ZKG

1 Rund 45 Studierende verfolgten die Ausführungen der Referenten

Ziel der ZKG-Fachexkursion im Frühsommer 2015 war mit dem Dyckerhoff Werk Lengerich eines der größten Zementwerke der Buzzi Unicem Gruppe. 45 Studierende und ihre Betreuer waren der Einladung der ZKG International und der teilnehmenden Industriepartner am 9. und 10. Juni in den Nordwesten Deutschlands gefolgt. Die Hochschule Koblenz war mit den Fachbereichen Maschinenbau und Wirtschaft, die TFH Bochum mit den Fachbereichen Verfahrenstechnik und Rohstoffe und die HAW Hamburg mit dem Fachbereich Mechanische Verfahrenstechnik vertreten.

Der Zementherstellungsprozess in Theorie und Praxis

Nach der Begrüßung der Teilnehmer durch Anett Fischer, Chefredakteurin der ZKG International, erhielten die Studenten eine Einführung in den „Zementherstellungsprozess am Beispiel des

Werkes Lengerich“. Franz-Josef Barton, Direktor und Leiter Werksgruppe Nord, Dyckerhoff GmbH, zeigte anhand seines eigenen Entwicklungsweges zuerst kurz eine mögliche Karriere in der Zementbranche auf. Die Produktpalette des 1872 gegründeten Zementwerkes Lengerich umfasst elf verschiedene Zementsorten für alle wesentlichen Einsatzbereiche im Hoch- und Tiefbau sowie Spezialbindemittel, Putz- und Mauerbinder und Kalk. Das Highlight des Werkes ist der Tiefbohrzement, der 2013 in 64 Länder weltweit exportiert wurde. Barton betonte, dass die Mitarbeiter das wichtigste Kapital bei Dyckerhoff sind. Im Werk Lengerich sind rund 10% der etwa 220 Mitarbeiter Auszubildende. Da aber auch Ingenieursnachwuchs gesucht wird, war man sofort bereit, die ZKG-Fachexkursion ins Werk einzuladen.

Ingo Sosna, Leiter Produktion Werk Lengerich, stellte den Prozess der Zementherstellung



2 Die Gruppe auf dem sechsstufigen Wärmetauscher

vor, vom Steinbruch über den Hammerbrecher bis zum Mischbett. Der gebrochene Kalkstein wird mit Sand, Gips, Ton oder Eisenerz gemischt und alles in der Rohmühle vermahlen. Nach der Kalzinierung im sechsstufigen Wärmetauscher wird das Material im Drehrohrofen zu Zementklinker gebrannt und in Klinkersilos gelagert. Nach der abschließenden Zementmahlung in Kugelmühlen und der Lagerung verlässt der größte Teil das Werk als lose Ware, zum Teil über die Schiene. In einer eigenen Sackpacke-

rei werden rund 35% der Produktion in Säcke verpackt. Der Tiefbohrzement wird mittels einer speziellen Befüllanlage in 1,5 t fassende Big Bags gefüllt. Das Werk tätigt jährlich Investitionen in Höhe von mehreren Millionen €. Hervorzuheben sind der Neubau der Ofenlinie 8 im Jahr 2001 für ca. 125 Mio. € und die neue, 2008 errichtete Hüttensandmahanlage.

Nach der ausführlichen Prozessdarstellung hatten die Studierenden die Gelegenheit, ihr Wissen zu testen. In mehrere Gruppen aufgeteilt ging es darum, welche von ihnen die Schaubilder des verfahrenstechnischen Ablaufs am schnellsten in die richtige Reihenfolge ordnet. Und, zwei Gruppen waren nicht nur wirklich schnell, sondern auch exakt. Mit Unterstützung von Ingo Sosna schafften es schließlich alle, den Drehrohrofen hinter der Rohmühle anzuordnen.

Die gemeinsame Mittagspause in der Kantine des Zementwerkes wurde zu ersten Gesprächen zwischen Studierenden und Industriepartnern genutzt. Danach ging es in zwei Gruppen mit erfahrenen Führern durch das Werk. Die Exkursion stieß bei den Studierenden auf ein großes Interesse. Auch die Möglichkeit, einen stillgelegten Drehrohrofen von innen zu besichtigen, begeisterte alle Teilnehmer. Höhepunkt der Tour war ein grandioser Blick über die Landschaft vom 108 m hohen Wärmetauscher. Von hier war auch



3 Wer kennt sich aus mit dem Herstellungsprozess? Die Studierenden bei der Gruppenarbeit



4 Die Besichtigung eines stillgelegten Drehofens begeisterte alle

der Kalksteinbruch, der direkt neben dem Werk liegt, gut einsehbar.

Fördern, Wiegen und Dosieren

Mit diesen Eindrücken ging es weiter mit dem theoretischen Teil der Veranstaltung. Anne Passen, Aumund Fördertechnik GmbH, informierte über die „Optimierung der Förderwege im Zement-Herstellungsprozess“. Mit dem von ihr vorgestellten Pendelbecherwerk können unterschiedliche Materialien gleichzeitig transportiert werden. Da auch mehrere Be- und Entladestationen möglich sind, bietet es ein großes Einsatzpotential. Anne Passen gab den Studierenden einen Überblick über die Entwicklung der Firma und informierte über Einstiegsmöglichkeiten bei der Aumund Gruppe. Sie zeigte anhand von Beispielen Möglichkeiten für Diplom-, Bachelor-



5 Die Dyckerhoff-Mitarbeiter erhielten für ihre sachkundige Führung viel Lob von den Studierenden

und Masterarbeiten auf. Bei Aumund gelte der Grundsatz „man muss das Rad nicht neu erfinden“, sondern bestehende Bauteile anderer Förderer intelligent neu einsetzen. Hier gibt es viel Forschungspotential für junge Ingenieure.

Die „Wäge- und Dosiertechnik in der Zementindustrie“ behandelte Martin Bollongino, Schenck Process GmbH. Er betonte, dass Stoffströme genau dosiert bzw. kontrolliert werden müssen, um Unterschiede im Rohmaterial auszugleichen. Bollongino gab einen Überblick über die verschiedenen Waagentypen, von statischen bis hin zu kontinuierlichen Waagen, letztere werden zumeist im Zementwerk eingesetzt. Ein Beispiel ist die Dosierbandwaage, ein Standardgerät in der Zementindustrie, die sich durch einen einfachen Maschinenbau und eine kostengünstige Herstellung auszeichnet. Bollongino

STATEMENT

Martin Bollongino, Schenck Process GmbH

Die Zementindustrie ist eine relativ kleine Industrie mit einer sehr speziellen und komplexen Verfahrenstechnik, die angehenden Ingenieuren im Studium gar nicht bis ins Detail vermittelt werden kann. Auch die Karrierechancen in der Zement- und ihrer Zuliefererindustrie sind der breiten Basis nicht geläufig. Die von der Fachzeitschrift ZKG International regelmäßig veranstalteten Exkursionen sind ein gutes Mittel, um entsprechend gegenzusteuern und den Ingenieursnachwuchs auf die Branche aufmerksam zu machen.

Die Veranstaltung bei Dyckerhoff in Lengerich vermittelte einen guten Überblick über das Herstellungsverfahren und die Anlagentechnik sowie einen Einblick in die notwendigen Details der zuliefernden Industrie. Dabei wurde durch die Kombination von Praxis und Theorie ein sehr interessantes Bild gezeichnet, welches ja auch der Realität entspricht und bei den Studenten gut ankam. Auch die Vielzahl der Angebote zum Karriereeinstieg zeigte den Studierenden die breite Basis an Möglichkeiten auf.

Georg
Operator Bending
Production
Beckum, Germany

**SOME THINK
WE COULD SAVE
MONEY BY
SWITCHING TO
PLASTIC RIVETS.
WE THINK
DIFFERENT.**

In an economic age focused on short-term profit, BEUMER has held true to its belief of long-term success ahead of short-term benefit. It's a business mission that has guided our choices for three generations. It's what makes us a quality leader in every segment we serve. It's what makes us choose metal closures over plastic rivets. It's what makes us BEUMER. It's what makes us different.

For more information, visit www.beumergroup.com

STATEMENT

Marc Doeffler, Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG

Die ZKG-Fachexkursion ist aus Sicht der Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG eine gelungene Veranstaltung. Die geschaffenen Rahmenbedingungen ermöglichen ein gleichwertiges und vor allem ausgeglichenes Aufeinandertreffen von Studenten mit Vertretern der Industrie. Bei verschiedenen fachlichen als auch geselligen Programmpunkten besteht für die Studenten die einzigartige Möglichkeit, sowohl Einblicke in die Vielfältigkeit der teilnehmenden Unternehmen zu erlangen, als auch eigene Anliegen an die Vertreter der Industrie zu richten. Auf Grundlage einer ersten Kontaktaufnahme bei vergangenen ZKG-Fachexkursionen kam es bereits für Studenten direkt nach ihrem Studienabschluss zum erfolgreichen Karrierestart bei der Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG. Abschließend möchten wir den Organisatoren für das wegweisende Format dieser Fachexkursion danken.

zeigte Beispiele für die Auslegung beim Einsatz verschiedener Materialien. Das weltweit tätige Unternehmen kann alle Wäge- und Dosierschritte im Zementprozess abdecken. Er informierte die Studierenden darüber, dass Schenck Process nicht nur in der Zementindustrie, sondern in verschiedenen Bereichen, u. a. Bergbau, Chemie und Transport tätig ist.

Job-Board und Speed Dating

Ein Ziel der Veranstaltung ist es, teilnehmende Unternehmen und Studenten miteinander zu vernetzen. Neben einem Job-Board, an dem die Firmen ihre offenen Stellen bzw. Bachelor- oder Masterarbeiten aushängen könnten, stand am gemeinsamen Grillabend ein Speed-Dating auf dem Programm. In fünf Gruppen aufgeteilt, hatten die Vertreter der einzelnen Firmen Gelegenheit, sich zu präsentieren und die Studierenden konnten Fragen stellen. Das kam bei allen sehr gut an und vertiefte den Kontakt untereinander.

Verschleißschutz, Dosierung und Feuerfestmaterial

Den Vortragsreigen am zweiten Tag eröffnete Marc Doeffler, Köppern GmbH & Co. KG, zum Thema „Innovativer Verschleißschutz für Walzenpressen“. Er stellte zuerst das über 100 Jahre alte Familienunternehmen vor, das heute u. a. Walzenpressen für die Klinkervermahlung produziert: mit Walzenbreiten von bis zu 2 m und Walzendurchmessern bis zu 2,4 m, die bis zu 500 t wiegen und eine installierte Motorleistung von mehr als 4000 kW haben. Da der konventionelle Verschleißschutz Nachteile mit sich bringt, hat Köppern ein neues Produkt entwickelt, das Hexadur-Verschleißschutzsystem. Dieses zeichnet sich aus durch den Einsatz kundenspezifischer Verschleißwerkstoffe, einen optimierten Produkteinzug durch die Profilierung sowie einen konstanten Durchsatz. Das System muss während seines Einsatzes nicht instandgehalten werden. Zum Schluss gab Marc Doeffler

STATEMENT



Franz-W. Aumund, Aumund Fördertechnik GmbH

Seit 2011 nehmen wir an den Fachexkursionen der ZKG teil. Die Kombination aus Fachvortrag und Werksbesichtigung, bei der Maschinen und Anlagen unmittelbar erlebt werden, macht den besonderen Erfolg der Veranstaltung aus. Unsere Referenten kommen stets aus unterschiedlichen Fachbereichen und stellen zusätzlich zu Projektbeispielen auch die vielfältigen beruflichen Möglichkeiten für den Maschinenbau-Ingenieur in einer mittelständischen, international aufgestellten Unternehmensgruppe dar. Sie berichten aus der Arbeit der technischen Weiterentwicklung, der Konstruktion, wie aber auch aus dem Vertrieb und der Möglichkeit ins Ausland zu gehen. Hierbei sind die gemachten Erfahrungen und der berufliche Werdegang natürlich immer von großem Interesse.

Die vielen persönlichen Gespräche beim informellen Teil am Abend und die positive Rückmeldungen seitens der Studierenden an unsere „Ingenieure aus der Praxis“ bestärken uns darin, diese Plattform auch weiterhin zu nutzen. „Wir freuen uns auf Euch“.

einen sehr detaillierten Einblick in seine persönliche Berufsentwicklung, der bei den Studenten sehr gut ankam.

Die „Hochkonstante Dosierung von Brennstoffen in den Verbrennungsprozess und weitere Dosierapplikationen im Zementherstellungsprozess“ erläuterte Peter Norek, FLS Pfister GmbH. Die Hauptgeschäftsfelder des 1894 gegründeten Unternehmens sind die Zement- und Kraftwerksindustrie. Die bekannten Dosier-Rotorwaagen stellte Norek im Überblick für verschiedene Anwendungen dar. Ein Einsatzgebiet ist die Dosierung alternativer Brennstoffe im Zementwerk. Dabei liefert Pfister nicht nur die Waage, sondern Lösungen, die sowohl die Lagerung, Dosierung als auch den pneumatischen Transport umfassen. Die konstante Verwiegung und Vermischung von Brennstoffen sind bedeutende Abläufe im Zementwerk. Anschließend präsentierte Norek das Unternehmen, das mit seinen 500 Mitarbeitern weltweit verschiedene Möglichkeiten für Absolventen bietet, auch bei der Muttergesellschaft FLSmidth.

Im letzten Fachvortrag präsentierte Dr. Ulrich Zielinski, Refratechnik Cement GmbH, „Feuerfestmaterialien – Innovationen für die Zementindustrie“. Bei der Refratechnik, die seit 1950 ein Familienunternehmen ist, werden ständig neue Produkte entwickelt, um auf die sich ändernden Anforderungen in der Zementindustrie zu reagieren. Der zunehmende Einsatz alternativer Brennstoffe stellt neue Herausforderungen an das Feuerfest-Material und dessen chemische Belastung. Für jede Zustellung wird eine Bedarfsanalyse erstellt und über Entwicklungen und Testeinsätze die passende Lösung dann in Serienfertigung produziert. Die Refratechnik Cement GmbH produziert an neun Standorten mehr als 450 000 t/Jahr und bietet ein breites Betätigungsfeld für Ingenieure.

Zum Abschluss des Tages informierte Thomas Zlaugotnis, Operative Personalentwicklung Dyckerhoff GmbH, über die Personalentwicklung bei Dyckerhoff. Das Unternehmen bietet individuelle Angebote wie Seminarprogramme, Führungskräfte-Entwicklungsprogramme u. a.



Ingo Wanders, ZKG

6 Zufrieden mit der Resonanz der Fachexkursion: Ute Bergenthal, Dyckerhoff GmbH; Anne Passen, Aumund Fördertechnik GmbH; Marc Doeffler, Köppern GmbH & Co. KG; Dorothea Takec, Refratechnik Cement GmbH; Peter Norek, FLS Pfister GmbH; Dr. Ulrich Zielinski, Refratechnik Cement GmbH; Anett Fischer, ZKG und Martin Bollongino, Schenck Process GmbH (v.l.n.r.)

Seine Kollegin Steffi Fischer stellte anhand ihres Entwicklungsweges den Studierenden eine weitere mögliche Karriereform dar.

Prof. Dr.-Ing. Martin Geweke, HAW Hamburg, bedankte sich im Namen aller teilnehmenden Hochschulen für die gelungene Veranstaltung. Für die Studierenden sei es wichtig, Einblick in die Technologie der Zementindustrie und in die Zuliefererbranche zu bekommen. Die ZKG-Fachexkursion biete eine sehr gute Gelegenheit, sich gegenseitig kennenzulernen und Informationen auszutauschen.

Der Dank gilt auch den Industriepartnern, die mit ihrem Beitrag diese Veranstaltung überhaupt erst möglich machen und dem Zementwerk Lenggich für die umfassende Unterstützung. Alle gemeinsam bieten wir dem zukünftigen Führungsnachwuchs die Chance, in die Zement- und Zuliefererindustrie rein zu schnuppern und erste Kontakte zu knüpfen.

www.zkg.de

STATEMENTS



Prof. Dr.-Ing. Detlev Borstell

Prof. Dr.-Ing. Detlev Borstell, Hochschule Koblenz

Für mich ist die ZKG-Fachexkursion, an der ich schon mehrmals mit Studierenden teilgenommen habe, eine sehr sinnvolle Veranstaltung. Die Zementindustrie ist nun mal für viele eine graue, staubige Branche, die mit z.B. den Automobilherstellern um Absolventen konkurrieren muss. Die Vorträge und die Werksbesichtigung zeigen den Studierenden, was dahinter steckt. Die bekommen sonst ja keine Chance, ein Zementwerk zu sehen und sind immer begeistert, von den großen Anlagen und auch vom Aufwand, der bei der Zementherstellung betrieben wird. Aber, nicht nur die Besichtigung, auch die Fachvorträge sind sehr wichtig, da die Zulieferer für die Studierenden potentielle Arbeitgeber sind und sich so die Chance bietet, sich aktiv mit dem Berufswunsch auseinander zu setzen.

Manuela Kopatschek und Annemarie Görner, TFH Bochum

Wir sind sehr zufrieden mit der Veranstaltung und haben schon eine positive Rückmeldung von unseren Studierenden bekommen. Für sie ist es eine tolle Möglichkeit, die Industrie näher kennenzulernen und vorgestellt zu bekommen, wie ein möglicher Beruf aussehen kann. Gerade auch die Darstellung der persönlichen Karrieren der einzelnen Industrieteilnehmer hat da einen guten Einblick gegeben. Diese Mischung aus Fachvortrag und Personalentwicklung kommt bei den Studierenden wirklich an. Wir würden uns sehr freuen, wenn wir mit nachfolgenden Semestern wieder zu einer Fachexkursion eingeladen werden; diese Veranstaltungen sind ein Gewinn für die Studierenden und auch für uns als Lehrende. Es ist auch sehr schön, mit Angehörigen anderer Hochschule in Kontakt zu kommen und die Referenten aus den Unternehmen in persönlichen Gesprächen kennenzulernen.



Manuela Kopatschek (links) und Annemarie Görner



Prof. Dr.-Ing. Martin Geweke

Prof. Dr.-Ing. Martin Geweke, HAW Hamburg

Diese Exkursion ist wirklich sehr wichtig für unsere Studierenden, weil sie merken, dass die Zementindustrie keine „verstaubte“ Technologie ist. Sie lernen hier, dass die Branche qualitativ hochwertige Produkte in unglaublichen Mengen produziert und superspannende technische Herausforderungen bietet. Und, es ist nicht nur interessant, in ein Zementwerk zu gehen. Die Fachvorträge bieten sehr spannende technische Fragestellungen und die Studierenden erhalten Informationen über Einstiegsmöglichkeiten in den verschiedenen Unternehmen. Dass die Exkursion wirklich Kontakte schafft, zeigen Beispiele aus unserem Fachbereich. Einer unserer Studierenden ist Inbetriebnehmer bei TKIS geworden, ein anderer schreibt seine Bachelorarbeit im Zementwerk Lägerdorf.

Juri Fatehpour, Hochschule Koblenz

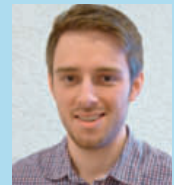
Mich interessieren besonders die Zulieferer, d.h. der Maschinenbau. Es war sehr interessant, in den Vorträgen auch mal technische Details zu erfahren. Diese technischen Fachinformationen sind für uns Studenten wichtig und notwendig. Ich würde mir dabei noch mehr Praxisbeispiele wünschen. Interessant fand ich auch die Werdegänge der einzelnen Referenten. So hat man einen guten Einblick bekommen, was man mit seinem Abschluss alles machen kann.



Melanie Hegemann

Melanie Hegemann, TFH Bochum

Ich fand es sehr gut, dass die Referenten auf die beruflichen Entwicklungsmöglichkeiten eingegangen sind. Die direkten Gespräche mit den Firmenvertretern, auch am Abend in lockerer Runde, machen eine Kontaktaufnahme unkomplizierter. Dass in den Vorträgen auch Perspektiven erläutert worden sind, wo wir als Rohstoffingenieure tätig sein können, fand ich besonders gut. Die Veranstaltung war super organisiert und ich würde es weiterempfehlen daran teilzunehmen.



Juri Fatehpour

Melad Lodin, HAW Hamburg

Der gesamte Ablauf war sehr gut strukturiert und abgestimmt. Es hat wirklich alles reibungslos geklappt. Die Werksbesichtigung war super. Den Führern hat man ihre lange Erfahrung anmerkt. Sie haben alles sehr glaubhaft erklärt und auch einen interessanten Blick hinter die Fassade gegeben. Die Vorträge waren eine gute Mischung aus Technik und Entwicklungsmöglichkeiten, auch die Vortragszeit war sehr gut geplant. Ich würde allen Studenten empfehlen, da mit zu machen.



Melad Lodin

Zukunft schon geplant? Karriere bei Refratechnik!



www.refra.com

Die Refratechnik Gruppe gehört zu den innovativen und erfolgreichen Partnern in der Zement-, Kalk-, Stahl- und Aluminiumindustrie, sowie der Keramik- und Ziegelindustrie, weltweit.

Auf der Basis Ihres Hochschulstudiums im Bereich Mineralogie, Geologie, Glas/Keramik, Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Bergbau, Gesteinshüttenkunde (Bachelor und Master) suchen wir ständig akademischen Nachwuchs für interessante Aufgaben in den Bereichen Forschung & Entwicklung, Vertrieb und Fertigungstechnologie.

REFRATECHNIK

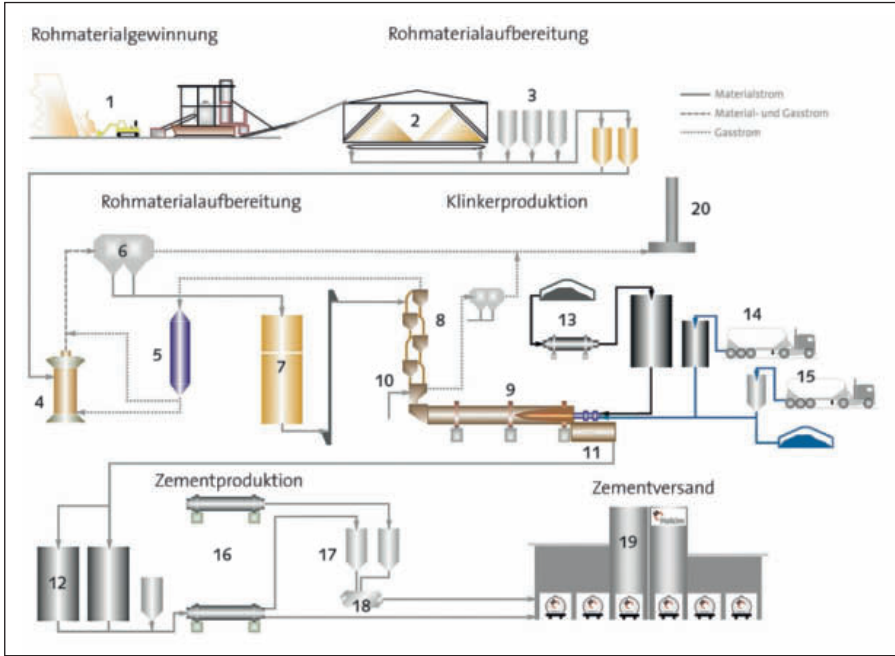
Neugierig?



Refratechnik Cement GmbH
Rudolf-Winkel-Strasse 1
37079 Göttingen
Germany
Phone +49 551 6941 0
personal@refra.com

Der Herstellungsprozess

TEXT Dr. Joachim Harder, OneStone Consulting S.L., Barcelona/Spainen



1 Fließbild eines Zementwerkes

- | | | | |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 Steinbruch, Brecher | 6 Prozessfilter | 11 Klinkerkühler | 16 Zementvermahlung |
| 2 Mischbetten | 7 Homogenisiersilos | 12 Klinkerlager | 17 Zumahlstoffe |
| 3 Zuschlagstoffe | 8 Zyklonvorwärmer | 13 Kohlevermahlung | 18 Zementmischer |
| 4 Rohmaterialvermahlung | 9 Ofensystem | 14 Kunststoffschnittzel | 19 Zementsilos |
| 5 Abgas-Konditionierung | 10 Calzinator | 15 Klärschlamm | 20 Kamin |

Übersicht

Ein modernes Zementwerk produziert 24 h am Tag an über 330 Tagen im Jahr. Lediglich für die jährliche Anlagenrevision ist ein solches Werk nicht in Betrieb. Die Überholung ist nötig, weil die Rohmaterialien, Zwischen- und Endprodukte der Zementherstellung sehr verschleißend sind und deshalb einen Austausch einzelner Anlagenkomponenten erfordern. Auf der anderen Seite möchte man Anlagenstopps möglichst vermeiden, weil die Kernkomponente eines Werkes (der

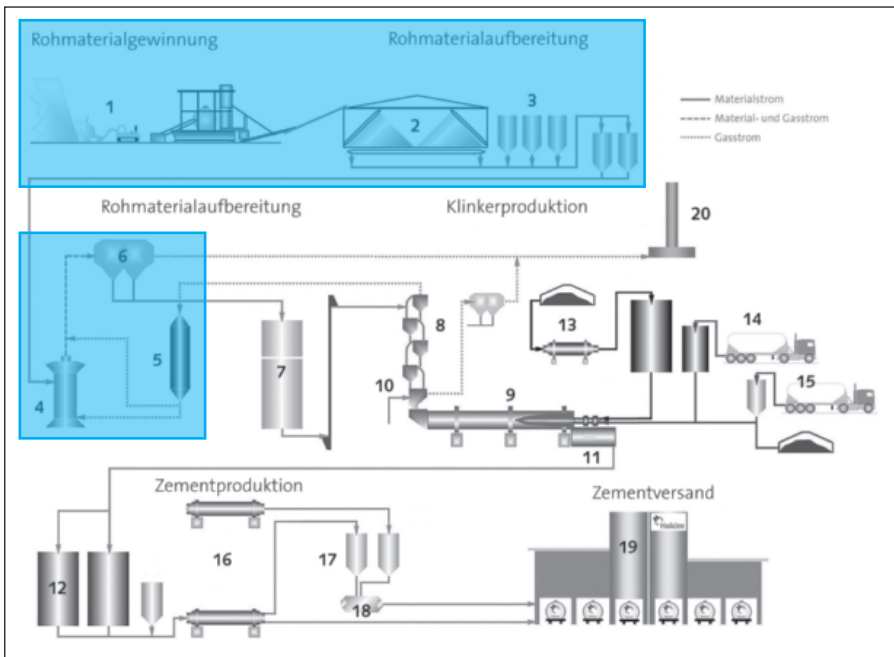
Drehrofen) auf Temperaturen von über 1000 °C aufgeheizt wird und häufige An- und Abfahrten mit erheblichen Energieverlusten verbunden sind. Außerdem führen solche Stopps generell zu einer ungleichmäßigeren Anlagenfahrweise, zu Einschränkungen in der Produktqualität und einem Anwachsen der Emissionen.

Bild 1 zeigt ein vereinfachtes Fließbild eines modernen Zementwerkes nach dem Trockenverfahren. Üblicherweise unterteilt man den Herstellungsprozess in vier Prozessschritte. Im

ersten Schritt werden die Rohmaterialien gewonnen und aufbereitet. Daran schließt sich die Calzinierung der Rohmaterialien mit der Klinkerproduktion an. Im dritten Schritt wird der Klinker mit anderen Zuschlagstoffen zu Zement vermahlen. Der letzte Prozessschritt umfasst die Zementlagerung, Verpackung und den Versand. Damit sind die einzelnen Anforderungen bei der

Zementherstellung aber nur bezüglich der Maschinen und Anlagen berücksichtigt. Wichtig ist natürlich auch die Anlagenautomation und Güteüberwachung sowie die Umwelttechnik und Emissionsbegrenzung. Auf ältere Herstellungsmethoden und Prozessalternativen wird hier nicht eingegangen. Im Folgenden werden die dargestellten Prozesse näher vorgestellt:

Die Rohmaterialgewinnung und -aufbereitung



Die wichtigsten Rohstoffe für die Zementherstellung sind Kalkstein, Ton und Mergel (ein natürliches Gemisch aus Kalkstein und Ton). Sie werden in Steinbrüchen (1) durch Sprengen oder mit schwerem Gerät (Greifbagger, Schaufelradbagger oder sog. Surface-Miner) gewonnen und mit Radladern und großen Muldenkippern oder über Förderbänder zu den Brechanlagen transportiert (Bild 2). Teilweise werden auch mobile Brechan-

lagen eingesetzt, die dem Abbau im Steinbruch folgen. Das Gestein wird mittels der Brecher auf die Größe von Straßenschotter zerkleinert. Nach dem Brecher wird der sog. Rohschotter zumeist über Förderbänder in das Zementwerk transportiert. Derartige Transporte können über mehrere Kilometer gehen.

Zementwerke sind praktisch immer in der Nähe der Rohmaterialvorkommen angesiedelt.

PRODUCTION

In manchen Ländern sind die Rohmateriallagerstätten räumlich sehr konzentriert und weit von den Verbrauchermärkten entfernt. Damit verbundene Probleme werden in einem späteren Kapitel behandelt. Der Rohschotter wird in dem Zementwerk zumeist in Mischbetten (2) eingelagert und dort vergleichmäßigt (Bild 3). Eine derartige Homogenisierung ist immer dann unumgänglich, wenn größere Schwankungen der Rohmaterialbeschaffenheit vorliegen. Heutzutage werden in solchen Fällen Online-Messungen der Eingangsmaterialien vorgenommen und die Mischbetten für die Vergleichmäßigung entsprechend dimensioniert und gesteuert. Mit Rund- und Längslagern können bereits Vergleichsmäßigungseffekte bis zu 70 % erzielt werden.

Der Rohschotter gelangt nach dem Mischbett in die Rohmaterialmühle, wo eine mehlfine Vermahlung der Ausgangsstoffe erfolgt. Über Dosiereinrichtungen werden der Mühle Zuschlagsstoffe (3) wie Quarzsand oder Eisenerz zugegeben, um die gewünschten Rohmaterialbestandteile zu erhalten. Die Aufgabefeuchten der Materialien liegen meist zwischen 3–8 %, teilweise aber auch bei über 20 %. Deshalb ist bei der Vermahlung auch eine Trocknung erforder-



Quelle: Harder

2 Kalksteinabbau für ein Zementwerk

lich, wozu heiße Abgase aus dem Prozess (5) verwendet werden können. Für die Vermahlung sind Vertikalmühlen (4) sehr gut geeignet, weil Trocknung, Vermahlung und Klassierung in der Mühle erfolgen. Rohrmühlen sind aufwändiger und benötigen auch einen höheren spezifischen Energiebedarf. Die Produktabscheidung erfolgt in Schlauchfiltern (6). Im Anschluss an die Aufbereitung erfolgt die Lagerung des Rohmehls in Homogenisiersilos.



Quelle: Polysius

3 Rundmischbett für Rohmaterial



Quelle: Loesche

4 Vertikalmühle (Bau) zur Rohmaterialvermahlung



Köppern

Wir bilden Sie aus. Mit Zukunft.

Die mittelständische Firmengruppe Köppern ist ein Unternehmen mit internationaler Ausrichtung und einer über 115 Jahre bestehenden Tradition. Köppern Produkte – Walzenpressen und Walzenmühlen – finden weltweit Einsatz in den Bereichen Brikettierung, Kompaktierung und Zerkleinerung von Roh- und Grundstoffen.

Mit hochwertiger Technologie aus Hattingen und Service-Niederlassungen in aller Welt sichern wir Arbeits- und Ausbildungsplätze in Deutschland.

Wir bieten folgende Ausbildungsberufe:

- » Zerspanungsmechaniker/in
- » Industriemechaniker/in
- » KIA – kooperative Ingenieurausbildung
- » Technische/r Produktdesigner/in
- » Industriekaufmann/frau

Einstiegs- und Förderprogramme:

- » Schreiben Sie Ihre Diplom-, Bachelor- oder Masterarbeit mit unserer fachlichen Unterstützung
- » Einstieg in die Köppern Group durch Kurz-, Teil- und Vollzeitpraktika
- » Kooperationen: Wir sind im Dialog mit Institutionen der Lehre und Forschung

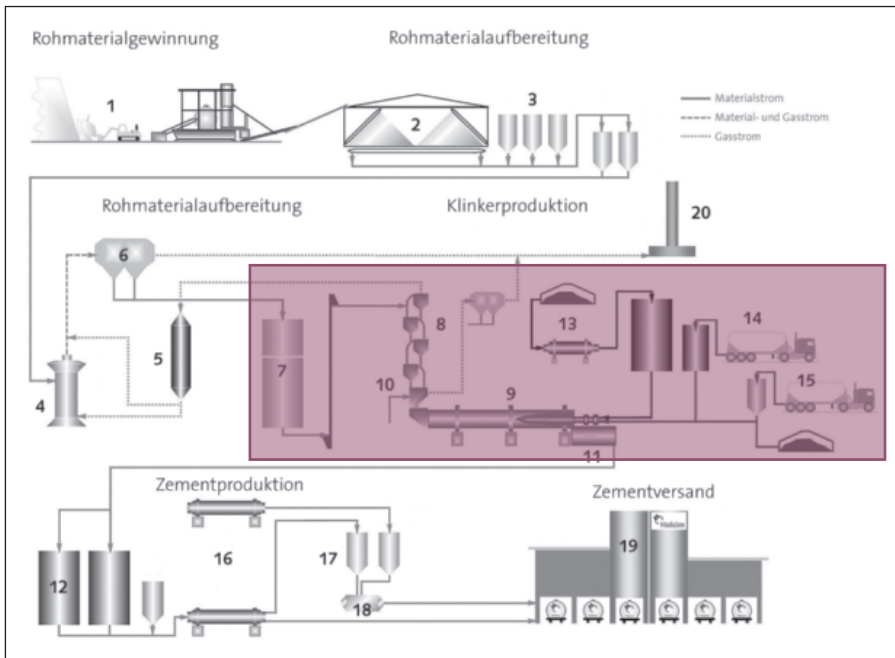
Haben wir Ihr Interesse geweckt?

Dann kontaktieren Sie uns:

Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG
Königsteiner Straße 2, 45529 Hattingen
ausbildung@koeppern.de

www.koeppern.de

Die Klinkerherstellung



Aus den Homogenisiersilos (7) wird das gleichmäßige Rohmehl über Gurtbecherwerke oder sog. Airlifte einem Zyklonvorwärmer (8) aufgegeben, der Teil des Ofensystems (9) (Bild 5) ist. Ein Zyklonvorwärmer ist ein Wärmetauscher, bei dem das Rohmehl die einzelnen Zyklon- oder Wirbelkammerstufen von oben nach unten im Gegenstrom zu dem Ofenabgas durchströmt. Während sich das Rohmehl von Stufe zu Stufe bis zum Ofeneintritt aufheizt, kühlt sich das Ofenabgas mit jeder Stufe ab. Der Wärmetauscher erreicht je nach Anzahl der Zyklon- bzw. Wärmetauscherstufen Höhen von über 150 m. Die Zahl der Stufen richtet sich nach der Feuchte des Rohmehls. Für größere Leistungen werden Zyklonvorwärmer zweisträngig ausgeführt. Moderne Anlagen verfügen darüber hinaus über separate Calzinatoren (10), in denen eine Teilcalzinierung des Rohmehls vor dem Drehrohren erfolgt.

In den Calzinator wird Heißmehl aus einer unteren Zyklonstufe geführt und mittels einer Zusatzfeuerung bereits weitgehend calziniert, bevor es in den Drehrohren eintritt. Die Vorteile liegen in niedrigeren spezifischen Investitions- und Betriebskosten durch deutlich verkürzte Öfen bzw. höheren Produktionskapazitäten, verbesserten Möglichkeiten zur NOx-Minderung sowie einer gleichmäßigeren Prozessführung. Bis zu 60% des Brennstoffbedarfs lassen sich bereits im Calzinator aufgeben. Im Drehrohren erfolgt bei Ofengastemperaturen bis zu 2000 °C und Brennguttemperaturen von 1450 °C die vollständige Calzinierung und Sinterung des Rohmehls zu Klinker. Während die Gasverweilzeiten im Ofen nur 5–7 s betragen, liegt die Materialverweilzeit in der Größenordnung von 30 Minuten.

Der rotglühende (gebrannte) Klinker aus dem Drehrohren wird in einem Rostkühler



Quelle: Polystius

5 Ofenanlage in Saudi Arabien

(11) **(Bild 6)** auf Temperaturen von unter 100 °C schroff abgekühlt. Die Geschwindigkeit der Klinkerkühlung beeinflusst das Verhältnis an Kristall- und Glasphasen im Klinker und damit die späteren hydraulischen Abbindeigenschaften des Zementes. Für die Klinkerkühlung

wird Luft eingeblasen, wobei ein großer Teil der aufgeheizten Luft als Sekundärluft für den Ofen bzw. als Tertiärluft für den Calzinator genutzt wird und damit ein Großteil der Wärme aus dem Klinker in das Ofensystem rekupe-riert werden kann. Rostkühler kommen dabei



Quelle: IKN Kühlerbau Neustadt

6 Klinkerkühler (Montage) in Amerika



Quelle: Aumund

7 Klinkerlager Werk Dotternhausen

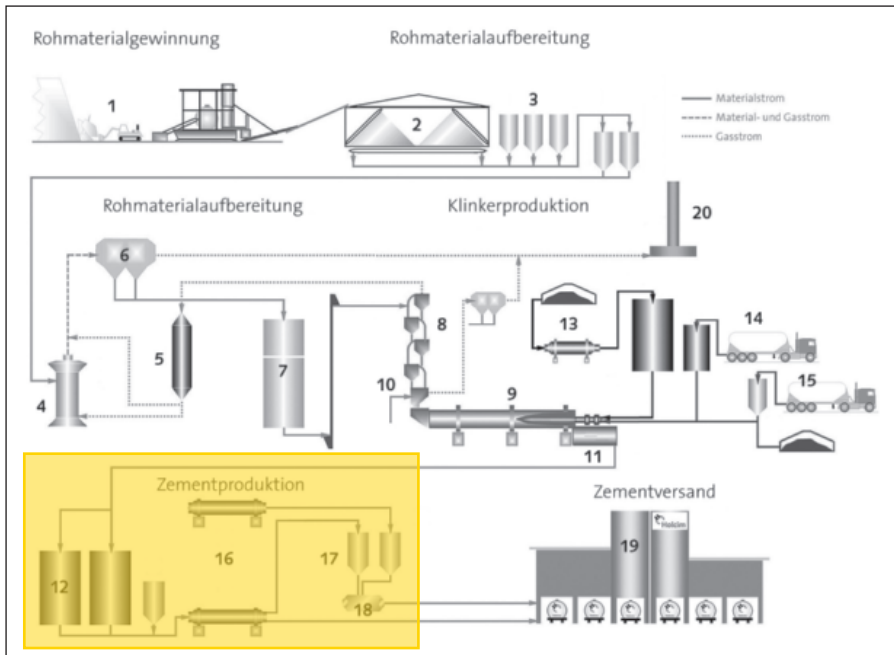
PRODUCTION

auf thermische Wirkungsgrade von über 75 %. Der abgekühlte Klinker wird anschließend über Transportanlagen dem Klinkerlager (12) (Bild 7) zugeführt.

Zur Befuerung des Calzinators und des Ofens werden heute als Primärbrennstoff in erster Linie Kohlenstaub bzw. Petrolkoks eingesetzt. In einigen Ländern verwendet man auch Öl und Gas. Der Kohlenstaub wird entweder fertig angeliefert oder in dem Zementwerk in einer Kohlemühle (13) vermahlen. Für die Vermahlung haben sich ebenfalls Vertikalmühlen

durchgesetzt. Eine wachsende weltweite Bedeutung haben inzwischen Sekundärbrennstoffe wie Altöl, Altreifen, Papierabfälle, Kunststoffschrottel (14) und organische Stoffe wie Holzabfälle und Klärschlamm (15) erlangt. In manchen Zementwerken werden schon nahezu 100 % Sekundärbrennstoffe eingesetzt. Dies spart Brennstoffkosten und kann zudem die CO₂-Bilanz des Zementwerkes verbessern. Außerdem sind die hohen Temperaturen und langen Verweilzeiten im Ofen ideal für die Verbrennung von Problemstoffen.

Die Zementvermahlung und Sortenherstellung



Der Klinker aus dem Klinkerlager wird in den Zementmühlen (16) unter Zugabe von Sulfat-trägern wie Gips zu Portlandzement vermahlen. Je nach gewünschter Zementsorte können der Mühle auch andere Zusatzstoffe (17) wie

Hüttensand, Kalkstein, Flugasche usw. zudosiert werden. Für die Vermahlung haben sich über viele Jahre Rohrmühlen bzw. Kugelmühlen (Bild 8) bewährt. Der hohe Energiebedarf solcher Mühlen wurde entscheidend durch eine Kom-

HAVE A LOOK!

THE NEW DRIVE IS ON THE MARKET

To further strengthen the vertical roller mills with a higher dependability of the mills drives, our clients clearly expressed these requirements:

- no bevel gear
- more redundancy
- more simplicity
- maximum maintainability under the mill
- short commissioning
- advanced spare part policy to make the story short: lower TCO



We listened to these requirements and in cooperation with RENK AG turned them into a new development.

The innovative COPE gearbox developed by RENK AG features a redundancy of 8 motors. COPE drives provide up to 13 MW using 8 identical maintenance free induction motors. The customer advantage lies in the fact that the COPE gearbox can reach up to 100% of the mill capacity performance even with a reduced number of motors. COPE drives will increase the availability of the mill drive by approx. 2,5 %. The COPE gearbox has the same external dimensions as a conventional planetary gear system and thus requires no extensive enlargement of the mill foundations.



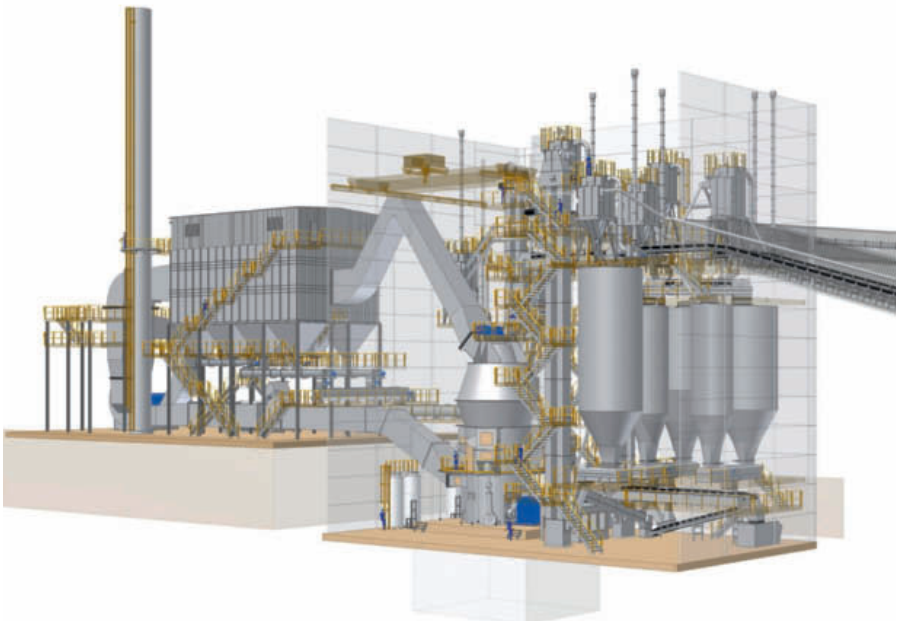
Quelle: Polysius

8 Kugelmühle zur Zementvermahlung

bivermahlung mit Hochdruck-Walzenpressen gesenkt. Inzwischen geht der Trend aber hin zu einstufigen Mahlverfahren mit Vertikalmühlen (Bild 9), Horizontalmühlen und Hochdruck-

Walzenpressen. Gegenüber Rohrmühlen können dabei mehr als 40% an Energieaufwand eingespart werden. Mit zunehmender Feinheit steigt bei den fortschrittlichen Mahlverfahren gegenüber Kugelmühlen die Einsparung beim Energieaufwand. Dennoch machen Kugelmühlen noch etwa 35% der weltweiten Mühlenpopulation bei der Zementvermahlung aus.

In vielen Fällen ist eine getrennte Vermahlung der Zementkomponenten günstiger als die gemeinsame Vermahlung. Zur Zementherstellung sind dann Mischer bzw. Mischanlagen (18) erforderlich, die die jeweiligen Komponenten gemäß den gewünschten Eigenschaften zusammenmischen. Dabei unterscheidet man Durchlaufmischer und Chargenmischer. Während sich Durchlaufmischer eher für wenige Sorten mit wenigen Hauptkomponenten eignen, werden Chargenmischer insbesondere für Spezialzemente mit mehreren Haupt- und Nebenkomponten in Betracht gezogen. Dabei werden je nach Bedarf einzelne Rezepturen



Quelle: Gebr. Pfeiffer

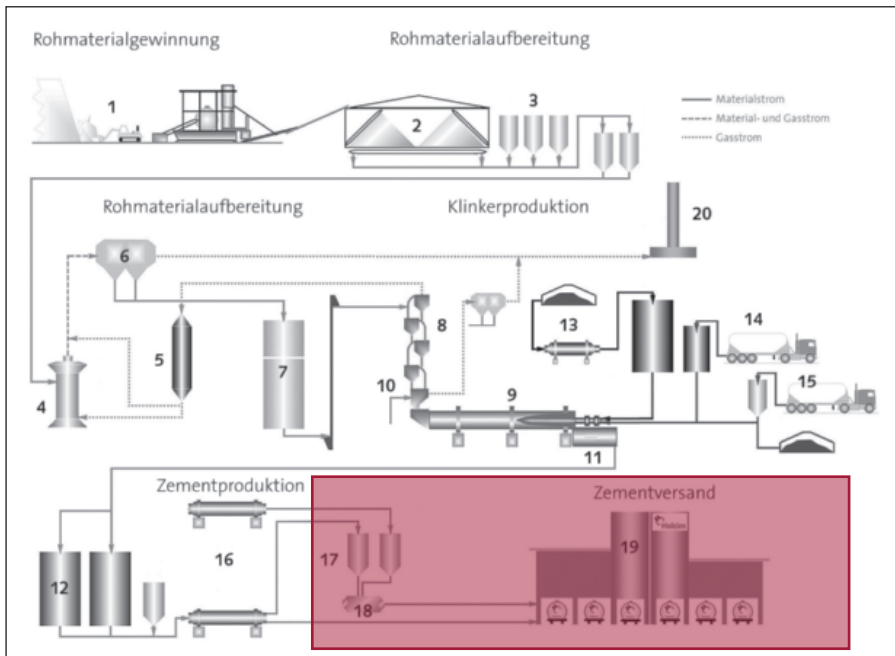
9 Illustration Zementmahanlage

eingestellt und für solche Bedürfnisse erfolgt die Herstellung „Just-in-time“.

Üblicherweise verfügt jedes Zementwerk über eine Zementvermahlung. Teilweise ist die Kapazität für die Klinkerherstellung aber größer als die Zementherstellung, weil ein Teil des Klinkers direkt in den Versand geht. Ebenso existieren Zementwerke, wo die Klinkerherstellung eingestellt ist und nur noch eine Ze-

mentvermahlung erfolgt. In vielen Ländern haben sich inzwischen auch separate Mahlanlagen etabliert, die anders als die Zementwerke eine größere Nähe zu den Verbrauchermärkten haben. Darüber hinaus werden separate Mahlwerke beispielsweise auch in der Nähe von Hüttenwerken gebaut, um den dortigen Hütten sand z.B. für die Herstellung von Schlackezementen zu verwenden.

Zementlagerung, Verpackung und Versand



Zementlager sollen in der Regel mindestens so groß dimensioniert sein, dass ein 3–5 tägiger Stillstand der Zementmühlen kompensiert werden kann. Bei üblichen Produktmengen von 4500 tpd sollte ein Zementsilo in einem solchen Werk also über eine Lagerkapazität von 13 500 bis 22 500 t verfügen. Derartige Großraumsilos (19) (Bild 10) werden heute als Zentralkegelsilos

ausgeführt, wobei eine pneumatische Entleerungstechnik eingesetzt wird. Bei dieser Technik ist der nahezu flache Siloboden mit sogenannten Luftförderrinnen belegt, in die Luft zur Fluidisierung des Materials in Bodennähe eingeblasen wird. Für die Lagerung unterschiedlicher Zementarten und Komponenten können die Silos auch als Multizellensilos ausgeführt werden.



Quelle: IBAU HAMBURG

10 Großraumsilo für Zement

Während in den westlichen Ländern teilweise weniger als 10% des Zementes verpackt wird und der Großteil als lose Ware in den Versand gelangt, ist dies in vielen Ländern in Asien, Südamerika und Afrika genau umgekehrt. Entsprechend existieren leistungsfähige vollautomatische Packmaschinen (Bild 11) mit Leistungen bis zu über 5000 Sack pro Stunde. Für den Zementversand werden Säcke palettiert, eingeschweißt und gegen

Umwelteinflüsse und Beschädigungen gesichert. In Verbrauchermärkten sind inzwischen Säcke begehrt, die vollkommen sauber sind und beim Handling zu keinerlei Verschmutzungen führen. Für die lose Zementverladung in Silofahrzeuge und Bahnwaggons existieren ebenfalls ausgefeilte Lösungen. Ein Teil der Produktion gelangt in den Export, wobei für größere Entfernungen Bahntransporte oder Schiffe wirtschaftlich sind.



Quelle: Haver & Boecker

11 Rotationspacker neuester Generation

Dem automatisierten Versand wird eine immer größere Bedeutung beigemessen. Auf der einen Seite sollen Wartezeiten und Fehlbedienungen der Abholer an den Zementterminals vermieden werden, andererseits spielt die Produktvielfalt und -qualität eine immer größere Rolle. Bei vielen Zementfirmen haben sich inzwischen Chipkartensysteme durchgesetzt.

Damit lässt sich nicht nur der Abholvorgang vollständig automatisieren, auch die Rechnungserstellung und Abbuchung erfolgt vollautomatisch. Der Abholer wird von zeitraubenden Prozeduren befreit.



 **HOFFMEIER**
INDUSTRIEANLAGEN



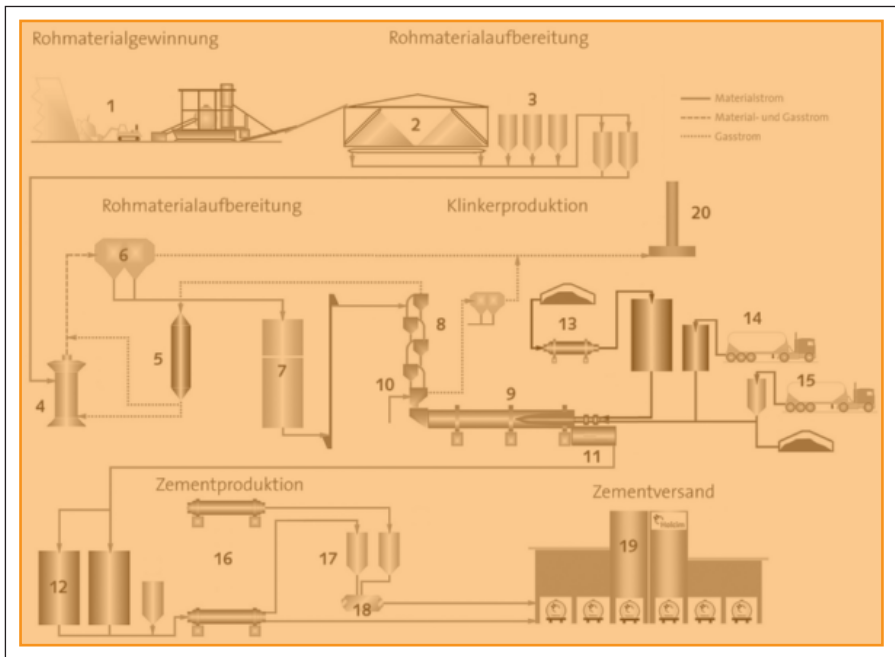
STAHLBAU | ANLAGENTECHNIK | ENTSTAUBUNGSTECHNIK | MASCHINENBAU | DIENSTLEISTUNGEN

**Sind Sie interessiert in unserem Team mitzuarbeiten?
Unsere aktuellen Stellenangebote finden Sie unter:**

www.hoffmeier.de

Hoffmeier Industrieanlagen GmbH + Co. KG · Kranstraße 45 · D-59071 Hamm · Tel. +49 2388 33-0 · Fax +49 2388 33-499
Werke in Bedburg, Kambachsmühle, Leimen und Rüdersdorf.

Automation und Qualitätsüberwachung



Von der Elektrotechnik wird die Automation- und Steuerungstechnik als das A&O eines Zementwerkes gesehen. Dabei darf nicht übersehen werden, dass ein einzelnes Zementwerk über zehntausende Motoren und Antriebe verfügt. Für ein optimales Zusammenspiel und einen reibungslosen Produktionsprozess werden die wichtigsten Prozesse mit separaten Regelkreisen versehen. Die Steuerung und zumeist die automatische Regelung der Anlagen erfolgt über einen zentralen Leitstand (Bild 12) mittels modernster mikroprozessorgesteuerter Technik. An den Leitstand ist auch die Qualitätsüberwachung der eingesetzten Zwischenprodukte und des fertigen Zementes angeschlossen. Im Leitstand werden nicht nur die Produktionsdaten, sondern auch alle relevanten Emissionsdaten rund um die Uhr überwacht und lückenlos aufgezeichnet.

Online-Messverfahren sind für die Prozesssteuerung von Zementwerken unverzichtbar.

Doch während die Messung von Motorleistungen, Temperaturen, Drücken, Füllständen, Durchflüssen und Emissionen längst etabliert sind, ist die Online-Messung von Materialparametern zur Prozessführung weniger verbreitet. Dies hängt u. a. damit zusammen, dass die Materialanalytik bisher hauptsächlich als wesentlicher Bestandteil der Qualitätssicherung betrachtet wurde. Außerdem ist die Materialanalytik relativ aufwändig und die Strecke von der Materialentnahme über den Rohrposttransport zum Analyzelabor, die Materialaufbereitung und Analyse bis hin zur Mischungsregelung sehr lang.

Neuerdings existieren aber zahlreiche In-line- Messverfahren für die Element- und Phasenanalyse von Rohmaterialien und Brennstoffen sowie den Zwischenprodukten Rohmehl, Heißmehl und Zementklinker, die auch für die Prozesssteuerung verwendbar sind. Ziel ist

Quelle: Polysius

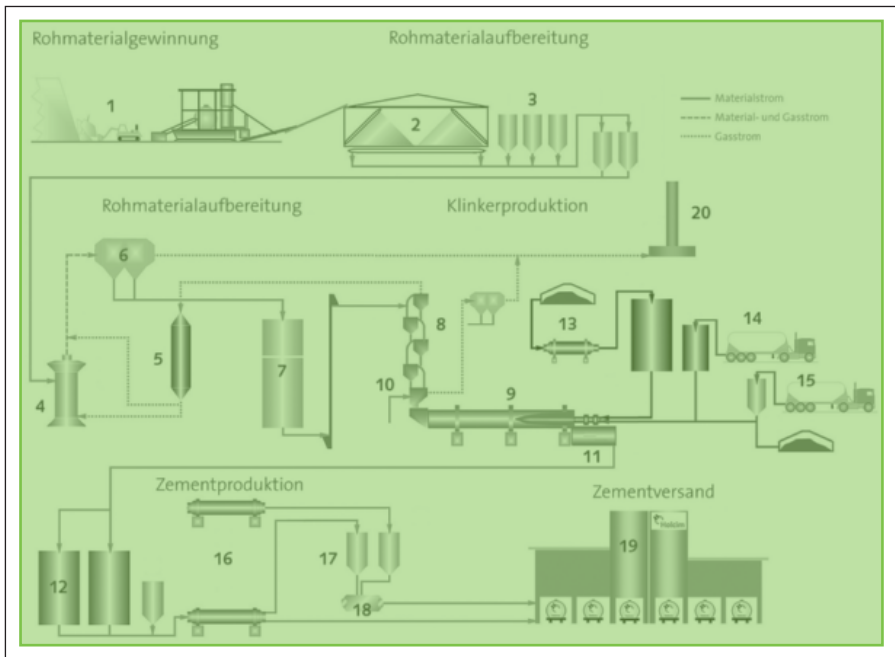


12 Moderner Leitstand

es, einen gleichmäßigeren und möglichst störungsfreien Anlagenbetrieb bei gleichzeitiger Ressourcenschonung und Qualitätseinhaltung zu erreichen. Ressourcenschonung ist aber oftmals der Qualität gegenläufig, weil schlechtere

oder problematischere Rohmaterialqualitäten und komplexere Sekundärstoffe zu verwenden sind und sich zusätzliche Anforderungen durch den Trend zu verschiedenen Zementarten ergeben.

Umwelttechnik und Emissionen



Bei der Zementherstellung fallen systembedingt Stube beim Materialabbau, dem Vermahlen, Brennen, Kühlen, Transportieren, Lagern und dem Versand an. Dabei entstehen riesige zu entstaubende Abgasmengen. Auf der Prozessseite gibt es drei wesentliche Entstaubungsaufgaben: das Rohmehlmuhlen-/Ofensystem, den Klinkerkühler und die Zementmahlanlage. Als wichtigste Bauarten für Prozessfilter (Bild 13) haben sich in der Zementindustrie Elektro- und Gewebefilter (Schlauchfilter) bzw. Kombinationen der beiden Verfahren durchgesetzt. Ein deutlicher Trend geht hin zu Schlauchfiltern, die im Vergleich zu Elektrofiltern niedrigere Emissionsgrenzwerte ermöglichen und praktisch unabhängig von Betriebszuständen bzw. An- und Abfahrbedingungen der Anlage sind.

Durch die Verwendung von Ersatzbrennstoffen anstelle konventioneller fossiler Energieträger können bei einem Co-Processing der

Stoffe in der Zementanlage im Vergleich zur getrennten Müllverbrennung und Zementproduktion insbesondere Klimagas wie CO₂, SO₂ und NO_x reduziert werden. Die führenden Zementunternehmen haben sich freiwillig verpflichtet, ihre CO₂-Emissionen drastisch zu senken. Lafarge beispielsweise hat gegenüber dem Basiswert in 1990 von 780 kg CO₂/t Zement bis 2010 bereits eine Minderung um 19% auf 632 kg CO₂/t Zement erreicht. Führendes Unternehmen bei Ersatzbrennstoffen ist momentan Heidelberg-Cement mit einem aktuellen Anteil von 19,5% und einem Anteil von 5,8% bei CO₂-neutralen Biobrennstoffen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Anteilen besteht in der Reduzierung des Klinkerfaktors im Zement. Dabei wird Klinker durch Zumahlstoffe wie Kalkstein, Hüttensand und andere Puzzolane substituiert. So ist der Marktanteil von Portlandzement, der etwa

zu 95% aus gemahlenem Klinker besteht, in Deutschland von 75% im Jahr 1997 auf etwa 34% gefallen. Ähnliche Entwicklungen können in anderen Ländern beobachtet werden. Niedrige Klinkeranteile helfen nicht nur die CO₂-Netto-Bilanz zu verbessern, sondern auch die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu erhöhen. Die weitere Entwicklung auf dem Sektor ist allerdings durch die Verfügbarkeit der Substitutionsprodukte und die Nachfrage nach solchen Kompositzementen begrenzt.



Quelle: Schreuch

13 Schlauchfilter zur Zementmühleneinstaubung

INSERENTENVERZEICHNIS

Inserent	Internetseite	Seite
AUMUND Holding B.V	www.aumund.com	139
BEUMER Maschinenfabrik GmbH & Co. KG	www.beumer.com	11
Dyckerhoff AG	www.dyckerhoff.com	137
FLSmidth PFISTER GmbH	www.flsmidth.com	73, 147
Hoffmeier Industrieanlagen GmbH & Co. KG	www.hoffmeier.de	27
Köppern GmbH & Co. KG	www.koeppern-international.com	19, 143
Loesche GmbH	www.loesche.com	23
Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH	www.christianpfeiffer.de	53
Gebr. Pfeiffer SE	www.gebr-pfeiffer.com	63
Refratechnik Cement GmbH	www.refra.com	15
SCHENCK PROCESS GmbH	www.schenckprocess.com	81, 151

Bauchemie-Forschung an der TU München



Alle Bilder: TUM

1 Prof. Dr. Johann Plank gab einen Ausblick auf die Zukunft von Betonzusatzmitteln

2014 hat die Technische Universität München (TUM) ihr neues „Center for Advanced PCE Studies“ eröffnet, das zum Lehrstuhl für Bauchemie an der Fakultät für Chemie in Garching bei München gehört. ZKG hatte kürzlich die Gelegenheit, Herrn Professor Plank zu interviewen und mit ihm über die Aktivitäten seines Lehrstuhls zu sprechen.

ZKG: *Herr Professor Plank, 2001 – nach 20 Jahren in der chemischen Industrie bei SKW/De-gussa – haben Sie das Angebot der TU München angenommen und wurden Professor auf dem neugeschaffenen Lehrstuhl für Bauchemie. Wie war der Wechsel für Sie?*

PLANK: Exzellent und hart. Exzellent, weil die Aufgabe es mir endlich erlaubte, Grundlagen-

forschung zu betreiben, die nötig ist, um Betonzusatzmittel zu verstehen, die wir heute so ausgiebig nutzen, und mit jungen Menschen zu arbeiten, was sehr erfüllend ist. Und hart, weil ich im wahrsten Sinne des Wortes bei null beginnen musste. Ich habe leere Labore übernommen und musste alle Vorlesungen und Seminare völlig neu selbst erstellen. Da das Gebiet Bauchemie so neu war, hatte ich nichts, worauf ich aufbauen konnte.

ZKG: *Was lehren Sie momentan hauptsächlich?*

PLANK: Master-Studenten der Chemie und des Chemieingenieurwesens können das Spezialisierungsmodul „Bauchemie & Materialien“ wählen, das Vorlesungen über Bindemittel und Zusatzmittelchemie, Nanomaterialien und Kolloidchemie beinhaltet. Dieses Modul wird von mir und externen Dozenten gehalten. Außerdem lese ich „Anorganische Chemie und Prinzipien der Chemie“ in den Bachelor-Studiengängen für künftige Umweltingenieure und Geowissenschaftler.

Und ich biete den speziellen Kurs „Die chemische Industrie“ an, der Doktoranden auf ihr späteres Berufsleben vorbereiten soll. Dort diskutieren wir Forschungsmanagement, Mitarbeiterführung, wie man chemische Produkte vermarkten kann und – sehr wichtig! – Betriebswirtschaftslehre.

ZKG: *Dieser Kurs muss sehr spannend sein. Wie viele Studenten haben bereits ihren Abschluss bei Ihnen gemacht?*

PLANK: Zusammen waren das über 70 Doktoranden, nicht nur aus Deutschland, sondern aus der ganzen Welt, darunter aus Ländern wie Togo, Nigeria, Syrien, Ägypten, Kolumbien, Thailand und – natürlich – China, das Land mit der größten Bautätigkeit in der Welt. Meine ehemaligen Studenten arbeiten hauptsächlich für Chemie-

unternehmen, außerdem für die Zement-, Trockenmörtel- und Ölindustrie und manchmal für Patentbüros und Unternehmensberatungen. Ich bin besonders glücklich darüber, dass einige sich auch für eine akademische Laufbahn entschieden haben.

ZKG: Sie sagten, einige Ihrer Studenten arbeiten für die Ölindustrie? Wieso das?

PLANK: Wir sind die einzige Universität in Europa, die ein voll ausgestattetes Labor für die Zementierung von Ölbohrungen betreibt. Vor kurzem haben wir unsere Arbeiten noch auf Fluide für Fracking und Bohren ausgeweitet. Diese spezielle Kompetenz führt dazu, dass meine Studenten sehr gefragt sind und sie leicht eine Stelle in bekannten Ölfirmen finden.

ZKG: Ihre Forschungsfelder scheinen sehr vielfältig zu sein und gehen weit über Zement und Beton hinaus.

PLANK: Absolut! Wir führen zunächst Grundlagenforschung zur Chemie von Portlandzement und anderen Bindemitteln, jetzt besonders Geopolymere und kalzinierte Tone, durch. Unser Spe-

zialgebiet hier in München ist jedoch die Chemie der bauchemischen Zusatzmittel. Wir können alle Polymere selbst synthetisieren, einschließlich Fließmittel, Verzögerer, Stabilisierer, Wasserretentionsmittel etc. und dann ihre Wirkmechanismen und Wechselwirkungen untereinander – ein oft übersehenes Phänomen – studieren.

ZKG: Auf Ihrer Website steht, dass Sie auf vielen zusätzlichen Gebieten arbeiten ...

PLANK: Ja, unser Interesse gilt auch Latexpolymeren und grundsätzlich allen neuen Materialien, wie z.B. Nanopartikeln oder hierarchisch strukturierten Materialien.

ZKG: Und Aerogelen.

PLANK: Das stimmt. Wir waren die ersten, die ein CaCO_3 -Aerogel synthetisiert haben, das eine bessere Zementkompatibilität und Stabilität als die bekannten SiO_2 -Aerogele aufweist.

ZKG: Sie haben vor kurzem auch Zementhydratation unter Schwerelosigkeit erforscht.

PLANK: Oh ja, das war eine spektakuläre Erfahrung! Vier Doktoranden und ich haben 150 Ex-



2 Während des 1. PCE-Symposiums des Lehrstuhls im März 2015

INTERVIEW

perimente bei Schwerelosigkeit auf Parabelflügen durchgeführt, die von der DLR gesponsert waren. Wir haben herausgefunden, dass Ettringit-Kristalle unter Mikrogravitation sehr viel kleiner, dafür aber zahlreicher und ohne Defekte sind. All diese Effekte sind dem Fehlen von Konvektion geschuldet, bei Schwerelosigkeit beruht das Kristallwachstum allein auf Ionendiffusion zur Oberfläche. Da die Ettringitkristalle den Hauptanker für die Zusatzmittel darstellen, ist es sehr wichtig, ihren Kristallisationsprozess zu verstehen.

ZKG: Auf der *ibaasil-Konferenz im September* werden Sie auch über Ettringit sprechen ...

PLANK: Ja, diese Präsentation betrifft die Zementkompatibilität von PCE-Fließmitteln. Wir haben herausgefunden, dass gewöhnliche PCE-Polymere als morphologischer Katalysator für Ettringit fungieren, d.h., sie reduzieren die Kristallgröße des Ettringits vom μm - zum nm -Maßstab, ein Resultat der Oberflächenadsorption. Die Folge dieses Effekts ist die Bildung einer sehr großen Ettringitoberfläche, die von PCEs bedeckt werden muss und so zu ungewöhnlich hohen Fließmitteldosierungen führt. Deswegen denken Anwender,

dass es ein Inkompatibilitätsproblem zwischen diesen Zementen und den PCEs gibt. Wir konnten zeigen, dass gewisse PCE-Strukturen keinen derartigen negativen Effekt auf die Ettringit-Kristallisation aufweisen und daher voll „kompatibel“ mit allen Zementen sind.

ZKG: Wurde diese Arbeit in Ihrem neuen „TUM Center For Advanced PCE Studies“ durchgeführt?

PLANK: Korrekt. Zurzeit arbeiten wir dort an folgenden Forschungsprojekten: Funktionsfähigkeit von PCE-Fließmitteln in Gegenwart von Tonverunreinigungen; Bestimmung der Mikrostruktur von PCE-Polymeren mit Hilfe von ^{13}C NMR-Spektroskopie und Signaldekonvolution; Mischbarkeit von PCEs mit Polykondensat-Fließmitteln; PCEs als Mahlhilfsmittel; CaCO_3 -PCE-Nanokomposite; phosphonierte PCEs; und einige weitere.

ZKG: Das ist eine ziemlich beeindruckende Liste! Kommen wir zu einem anderen Thema und von der Gegenwart zur Zukunft: Was erwarten Sie künftig von den Zusatzmitteln?

PLANK: Bei den Zusatzmitteln existiert eine große technologische Lücke im Bereich von schwindreduzierenden Zusatzmitteln (SRAs). Die heute verfügbaren Produkte benötigen sehr hohe Dosierungen von 2-5% und sind trotzdem nicht so wirksam wie wir es benötigen. Hier sind grundsätzlich neue Technologien gefragt.

ZKG: Und was ist sonst auf Ihrer „Wunschliste“?

PLANK: Zusatzmittel-Pakete, die eine sichere Anwendung von selbstverdichtendem Beton (SVB) auf Baustellen gewährleisten. Damit würde die Notwendigkeit, den Beton auf der Baustelle zu verdichten, wegfallen, da dort viele Dinge schiefgehen können. Momentan wird SVB nur in Betonfertigteilwerken verwendet. Weiterhin, wenn wir die Fließeigenschaft (Konsistenz) von Beton über die verbrauchte Energie des rotierenden Behälters am Betonfahrmischer messen könnten und sie so automatisch exakt bei Ankunft auf der Baustelle einstellen könnten ... – das würde den Beton in Bezug auf seine Qualität sicherer machen.



3 Zusammen mit vier Doktoranden erlebte Prof. Plank Flüge in Schwerelosigkeit

ZKG: Welche weiteren Herausforderungen sehen Sie für die Zukunft?

PLANK: Die Zementindustrie wird in den nächsten 20 bis 30 Jahren aufgrund der Einführung neuartiger Bindemittel mit signifikant weniger CO₂-Emission unbestreitbar große Veränderungen erleben. So wie es derzeit aussieht, werden kalzinierte Tone ein wesentlicher Bestandteil in diesen zukünftigen Zementen sein. Die Zusatzmittelindustrie muss diesem Trend folgen und komplett neue Produkte entwickeln, u.a. wegen der völlig andersartigen Oberflächenchemie der kalzinierten Tone, verglichen mit Portlandzement.

ZKG: In welchen anderen Bereichen erwarten Sie einen Durchbruch?

PLANK: Ich hoffe, dass wir in Zukunft in der Lage sein werden, die Duktilität von Beton substanziell zu verbessern. Beton hat viele Vorteile, aber der größte Nachteil liegt in seiner Sprödigkeit. Seine Biegezugfestigkeit beträgt nur ~10% seiner Druckfestigkeit und nimmt bei hochfesten Betonen sogar noch mehr ab, wo der Wert oft auf unter 5% fällt. Unsere Knochen weisen z.B. eine rund hundertmal höhere Bruchfestigkeit auf als Beton. Das erklärt, warum der Beton von Wolkenkratzern durch die Einwirkung von Wind Ermüdungserscheinungen zeigt, oder Brücken Risse aufgrund von Schwingungen durch den Verkehr bekommen.

ZKG: Aber wie kann dieses Problem gelöst werden?

PLANK: Der einzig aussichtsreiche Weg besteht darin, die Mikrostruktur von Beton zu verändern. Wir haben perfekte Beispiele in der Natur, schauen Sie sich etwa nur Mollusken an. Ihre Schalen bestehen aus Aragonit-Plättchen mit Chitinschichten dazwischen, ein typisches Bio-Nanokomposit. Oder betrachten Sie den menschlichen Knochen. Ich glaube, dass das Lernen von der Natur uns zu komplett neuen Mikrostrukturen führen kann, die eine Bruchverbreitung im erhärteten Beton verhindern. Wir haben CaCO₃-PCE-Nanokomposite mit exakt diesen Eigenschaften entwickelt. Es würde die Technologie



4 Prof. Plank bei der Durchführung eines Experiments zur Zementhydratation unter Schwerelosigkeit

des Bauens völlig revolutionieren, wenn jemand eine ähnliche Mikrostruktur mit C-S-H herstellen könnte. Ich bin zuversichtlich, dass wir dies in den nächsten 20 Jahren schaffen werden.

ZKG: Was erwarten Sie noch für die Zukunft?

PLANK: Ganz bestimmt verbesserte Wärmedämmsysteme, um Energie zu sparen. Nicht wegen der steigenden Energiekosten. Aufgrund unserer Arbeit zu Ölfeldchemikalien und beim Fracking weiß ich, dass wir derzeit über mehr Ölreserven als jemals zuvor verfügen. Deswegen glaube ich, dass die Öl- und Gaspreise in absehbarer Zeit niedrig bleiben werden. Trotzdem, nicht weniger als 40% unseres Verbrauchs an Primärenergie fließen in das Heizen oder Kühlen von Gebäuden. Dieser Anteil ist weitaus höher als das, was Industrie oder Verkehr an CO₂ ausstoßen. Wir sind es unserer Umwelt schuldig, diese Emissionen zu reduzieren. Solche Dämmsysteme könnten zudem ein Exportschlager für unsere Industrie werden.

ZKG: Herr Professor Plank, es war ein Vergnügen, Ihre Zukunftsvisionen zu hören. Wir wünschen Ihnen und Ihrem Forschungsteam viel Glück bei Ihren Arbeiten!

MATERIALS

Um den veränderten Anforderungen unterschiedlicher Industrie-Bereiche gerecht zu werden, bedarf es verschiedener Qualitäten von Branntkalk und Löschkalk. Aus diesem Grund ist eine verbesserte Gütekontrolle im Kalzinierverfahren erforderlich.

TEXT Gabriele Vola, Geologe, Process & Laboratory Unit, Cimprogetti S.p.A., Dalmine/Italien
Luca Sarandrea, Technischer Leiter, Cimprogetti S.p.A., Dalmine/Italien

Einfluß von Rohmaterialien auf die Kalkproduktion

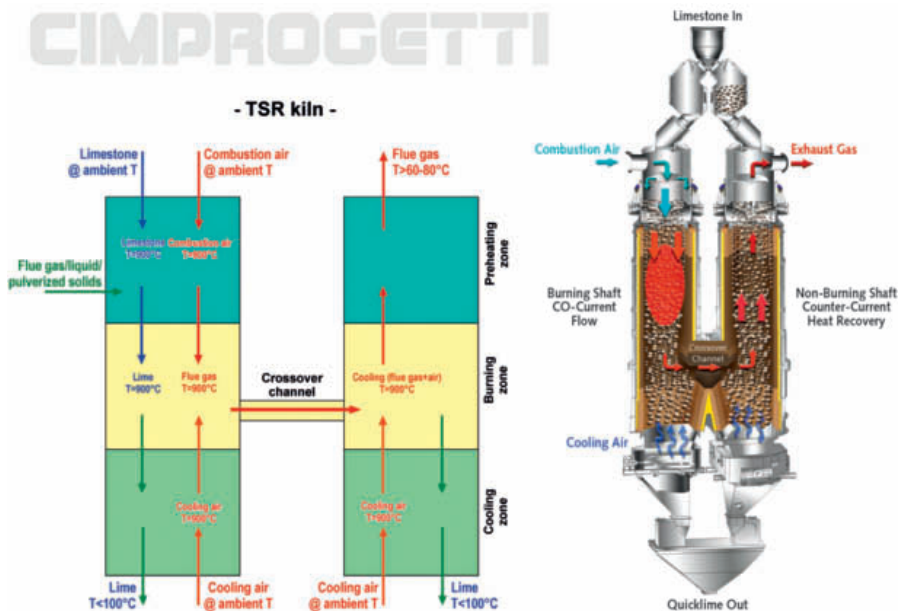


Bewertung von Rohstoffen für die industrielle Herstellung von Kalk

1 Einleitung

Die in diesem Artikel aufgeführten Fallstudien bieten einen repräsentativen Überblick über die technischen Aktivitäten, die Cimprogetti S.p.A. weltweit in den letzten zehn Jahren durchgeführt hat. Kunden aus aller Welt schicken ständig kommerzielle Proben von Karbonatgestein, d.h. Kalkstein und Dolomit, um ihre Eignung für das Kalzinierverfahren in einem Doppelschachtregenerativofen (TSR) zu bewerten, der dann von dem oberitalienischen Unternehmen konstruiert und installiert wird (Bild 1).

Wenn man berücksichtigt, dass unterschiedliche Qualitäten von Branntkalk und Löschkalk gefordert werden, um den neuen Anforderungen in unterschiedlichen Bereichen gerecht zu werden, ist es notwendig geworden, die Gütekontrolle im Kalzinierverfahren zu verbessern. Das beginnt mit einem kompletten Satz von Analysen des losen Gesteins. Das betriebliche Verfahren zur Charakterisierung der Rohmaterialien umfasst chemische und physikalisch-mechanische Analysen bezüglich des Brennverhaltens sowie technologische Tests. Vor kurzem wurden auch mineralogisch-



1 Doppelschachtregenerativofen (TSR). A: Vereinfachte Darstellung von der Europäischen Kommission (2010) ([1], geändert); B: Vereinfachte Darstellung des Doppelschachtregenerativofens von Cimprogetti (2012)



2 Weltweite Verteilung von kommerziellem Kalkstein und Dolomit, analysiert von Cimprogetti S.p.A.

petrografische Untersuchungen auf geologischer Basis durchgeführt, um die Auswirkungen der Zusammensetzung und der Mikrostruktur des Karbontagesteins auf die Qualität und den Einsatz von industriellem Branntkalk zu bewerten. Insbesondere wurde die Röntgenkristallstrukturanalyse (Röntgenbeugungsanalyse RDA) zusammen mit der Methode der Rietveld-Verfeinerung durchgeführt, um die quantitative Phasenanalyse (QPA) zu bestimmen. Für die Gefügeanalyse – auch als petrographische oder mikro-fazielle Analyse von Karbonatgestein bekannt – wurde die digitale Bildverarbeitungstechnik angewendet, um das Verhältnis Mikrit zu Sparit (M/S) und die Kristallgrößenverteilung zu bestimmen.

Schließlich wurde das Brennverhalten bei unterschiedlichen Temperaturen untersucht, um das Verhalten des Rohmaterials in einem TSR-Ofen bei Einsatz unterschiedlicher Brennstoffe vorherzusagen. Der Bericht über die Eignung des Rohmaterials basiert auf all diesen Tests.

Das Ziel dieser Studie besteht darin, das Verhältnis zwischen den Parametern der Zusammensetzung und Mikrostruktur, dem physikalisch-mechanischen Verhalten und der Brennbarkeit der Karbonatgesteine im Kalzinierprozess aufzu-

zeigen, um die Wirkung auf die Reaktivität des Branntkalks vorherzusagen. Schließlich können Fortschritte bei der Charakterisierung industrieller Mineralstoffe, die auf der Integration unterschiedlicher Analysemethoden basieren, erfolgreich angewendet werden, um Probleme im Kalzinierprozess zu lösen und – allgemeiner gesprochen – den gesamten Kalksektor zu modernisieren.

2 Materialien und Methoden

Gegenwärtig werden Proben von Karbonatgestein aus aller Welt (Bild 2) im Labor analysiert, um ihre Eignung für den Kalzinierprozess in TSR-Öfen nachzuweisen. Das betriebliche Verfahren für die Charakterisierung von Karbonatgestein umfasst einen kompletten Satz von Analysen der Zusammensetzung sowie physikalisch-mechanische Tests. Die visuelle Überprüfung des Gesteins ist die erste Stufe und liefert wichtige Informationen, wie z. B. Farbe, die nach der Farbtabelle für Gestein nach Munsell® bewertet wird. Es folgen die Korngrößenverteilung, Härte, Porosität, der Fossilinhalt, das Vorhandensein von Staub, die Art des Gefüges und schließlich die Homogenität der Probe. Diese ersten Informationen ermöglichen es, die folgenden Analysen richtig zu definieren.

Tab. 1 Von Cimprogetti S.p.A. analysierte repräsentative Proben von Karbonatgestein. Legende: 1–4: Kalkstein im engeren Sinn; 5: diagenetischer, rekristallisierter Dolomit; 6: granoblastischer, metamorpher Kalzit oder Marmor im engeren Sinn; N.a.: nicht anwendbar; N.d.: nicht gefunden; N.r.: nicht erreicht t_{60a}

Nr.	1*	2*	3**	4*	5*	6*
Code	598	549	1265	n. c.	n. c.	1290
Herkunft	Deutschland	Südafrika	VAE	Malaysia	Mexiko	Kongo
Jahr	2010	2009	2012	2004	2000	2012
Dunham (1962)	Fossil-führende Wacke	Fossil-führender Packstone	Pisolitischer Grainstone	Riffkorallengestein	Kristalliner Dolomit	Calcitmarmor
Loi Glv. [%]	41,27	43,03	43,21	43,79	45,93	43,12
SiO₂ [%]	4,39	0,4	0,98	Traces	0,47	0,60
Al₂O₃ [%]	1,94	0,26	0,09	0,08	0,18	0,26
Fe₂O₃ [%]	0,60	0,06	0,06	Spuren	0,07	0,27
CaO [%]	51,38	54,30	54,68	55,22	36,40	54,83
MgO [%]	0,63	0,82	0,74	0,18	16,06	0,45
Quartz [%]	4,5	1,0	0,5	0	0	1
Feldspat [%]	0	0	0	0	1,0	0
Calcit [%]	94	98	99	100	17	97,7
Dolomit [%]	0	1,0	0,5	0	82	1,3
Tone [%]	1,5	0	0	0	0	0
Glimmer [%]	0	0	0	0	0	Spuren
Kristallgröße	N.d.	N.d.	N.d.	N.d.	179±49µm	154±78 µm
Verhältnis M/S	23,3	12,3	3,2	5,8	N.d.	0,6
Ausdehnung (bei 700 °C)	0,98 %	2,04 %	0,37 %	0,27 %	1,06 %	1,34 %
Überbrand	16,9 %	33,7 %	22,1 %	36,0 %	43,6 %	30,2 %
Tendenz zum Kleben	keine	mittel	selten	mittel	sehr hoch	selten
Kalkabbau (bei 10 mm)	4,0 %	5,2 %	8,0 %	9,1 %	18,3 %	19,3 %
T_{max} (bei 1050 °C)	57,4 °C	73,0 °C	70,6 °C	75,4 °C	N.d.	63,0 °C
t₆₀ (bei 1050 °C)	N.r.	0,98 min.	1,4 min.	0,94 min.	N.r.	20,5 min.
Reaktivität (EN-459)	gering	hoch	hoch	hoch	N.a.	gering

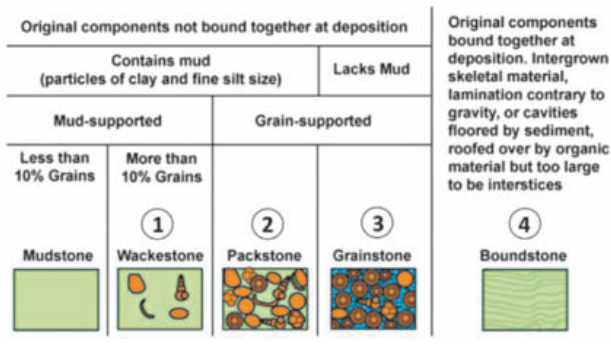
* Daten von Vola et al. (eingereicht beim EMABM 2013); ** unveröffentlichte Daten

Was die chemische Analyse betrifft, so werden die Haupt- und Nebenelemente mit Hilfe der nasschemischen Analyse und der Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) bestimmt. Es folgen interne Testmethoden. Zurzeit wird die mineralogische Analyse in einem externen Labor durchgeführt. Dabei wird das Pulververfahren (RDA) zusammen

mit der Rietveld-Verfeinerung für die quantitative Phasenanalyse (QPA) angewendet. Für die petrographische Untersuchung wird ein Polarisationsmikroskop mit einem Bildsoftwarepaket für die digitale Bildanalyse eingesetzt.

Es werden physikalisch-mechanische Analysen durchgeführt, wobei die Schüttdichte und die

MATERIALS



3 Klassifizierung von Sedimentkarbonatgestein nach [1]. Legende der Symbole: 1: Probe aus Deutschland; 2: Probe aus Südafrika; 3: Probe aus den VAE; 4: Probe aus Malaysia

maximale Feuchtigkeit, die in etwa der kapillaren Porosität entspricht, untersucht werden. Dazu gehören auch Abbauteests an den Rohmaterialien. Das Brennverhalten des Kalks wird in einem Muffelofen bewertet, wobei der Glühverlust nach einer bestimmten Zeit bei einer bestimmten Temperatur berücksichtigt wird. Der Standard-Brennbarkeitstest ist ungefähr mit einer Thermographischen Analyse (TGA) vergleichbar, wird aber an Gesteinsproben und nicht an Pulverproben durchgeführt.

Was die technologischen Tests betrifft, so wird der Ausdehnungsversuch bis 700 °C durchgeführt, um die Tendenz des Karbonatgesteins zu Verstopfungen in der Vorwärmzone des Ofens vorherzusagen, während der Hochtemperaturtest bei 1300 °C, nämlich der Überbrandtest, durchgeführt wird, um die Klebrigkeit des Kalks bei der maximalen Temperatur im Ofen vorherzusagen. Nach dem schroffen Temperaturwechsel wird auch die Farbe des Kalks ermittelt.

Danach wird das mechanische Verhalten des Kalks mit Hilfe der Abbau- und Fallversuche bewertet. Für den Abbau wird eine Standardsiebmaschine eingesetzt. Bei diesem Test wird die Reibung innerhalb der Rohmaterialstücke als auch der Kalkstücke im Ofen simuliert. Während des Absinkens des Materials im Ofen (ein Prozess, der normalerweise 16-20 Stunden in einem TSR-Ofen dauert) reiben die Gesteinsoberflächen gegeneinander, und ein Abbau findet statt. Das Ergebnis

des internen Tests wird sowohl für das Rohmaterial als auch für den Kalk angegeben und als Prozentsatz des Materialrückstands auf den Sieben von 10 mm und 19 mm ausgedrückt. Es ist wichtig, zwischen dem produzierten Feingut (Fraktion < 10 mm) und der Menge an rissigem Kalk (Fraktion zwischen 10 und 19 mm) zu unterscheiden. Manchmal weisen die Rohmaterialien eine deutliche Tendenz auf zur Aufspaltung in kleinere Stücke während des Vorwärmens oder am Beginn

der Kalzinierung, wobei der Kalk selbst stabil sein kann. Im vorliegenden Fall liegt eine ziemlich geringe Fraktion an Feingut < 10 mm vor und die Menge an rissigem Kalk zwischen 10 und 19 mm ist im Allgemeinen hoch. Ein solches Rohmaterial kann zu einer geringeren spezifischen Produktion des Ofens führen. Die Ergebnisse der Abbauteests für das Rohmaterial und den Kalk werden direkt als Input für das mathematische Modell zur Vorhersage der spezifischen Produktion des ausgewählten Ofens verwendet. Beim Fallversuch wird das Fallen des Kalks beim Austrag aus dem Ofen und später das Fallen des Kalks in die Silos simuliert. Beide Tests ermöglichen es, die Korngrößenverteilung des Kalks zu bewerten und sie in Übereinstimmung mit den unterschiedlichen Kalkgrößen zu bringen, die vom Kunden gefordert werden.

Es ist wichtig, die Reaktivität des in einem Industrieofen erzeugten Kalks vorherzusagen zu können. Die Reaktivität hängt von den Eigenschaften des verwendeten Rohmaterials und Brennstoffs ab, aber auch von der Aufheizgeschwindigkeit in der Vorwärmzone. Das ist ein kompliziertes Problem, und praktische Experimente im Labor sind notwendig, um die Reaktivität des Industriekalks bei einem bestimmten Rohmaterial und einem bestimmten Brennstoff vorherzusagen. Die Reaktivität von Kalk für die Stahlproduktion wurde nach einer internen Methode mit der Grobkorn-titration durchgeführt. Die Reaktivität von Bau-

kalk wird nach der europäischen Norm EN 459-2 und der amerikanischen Norm ASTM C110-03 bewertet. Je höher die t_{60} -Zeit, umso geringer ist die Reaktivität. Demzufolge wird die Reaktivität von Branntkalk wie folgt bewertet:

- » hohe Reaktivität: t_{60} wird in 3 min oder weniger erreicht
- » mittlere Reaktivität: t_{60} wird in 3-6 min erreicht
- » geringe Reaktivität: t_{60} wird nach mehr als 6 min erreicht.

3 Analysen der Zusammensetzung

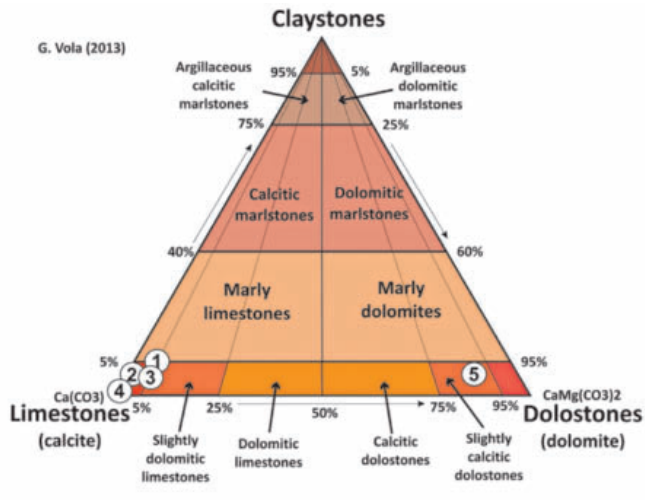
In Abhängigkeit von der endgültigen Verwendung des Produkts ist die Zusammensetzung des Rohmaterials einer der wichtigsten Parameter, die kontrolliert werden müssen. Die Anforderungen in traditionellen Anwendungsgebieten für Kalk, wie z.B. Stahl und Metallurgie, Rauchgasentschwefelung, Wasseraufbereitung sowie Umweltschutz, sind streng bezüglich der Reaktivität von Branntkalk und damit auch hinsichtlich der Materialreinheit (Glühverlust > 42%; CaCO_3 > 97%; SiO_2 < 1%). Andererseits kann Baukalk für Hoch- und Tiefbau einen höheren Gehalt an Kalziumsilikaten und Aluminaten aufweisen, wenn er aus tonigem oder kieseligem Kalkstein hergestellt ist. Dennoch muss auch seine Zusammensetzung kontrolliert werden. Speziell die chemischen Anforderungen gemäß der Norm EN 459 sehen einen maximalen Gehalt an SO_3 und einen minimalen Gehalt an freiem Kalk vor. Das hängt vom Typ des hydraulischen Kalkprodukts ab (s. Tabelle 1-2, EN 459-1). Die weiße Farbe für Baukalk ist immer erforderlich, d. h. der Gehalt an chromophoren Elementen muss ebenfalls gering sein.

Chemische, mineralogische und petrographische Analysen reprä-

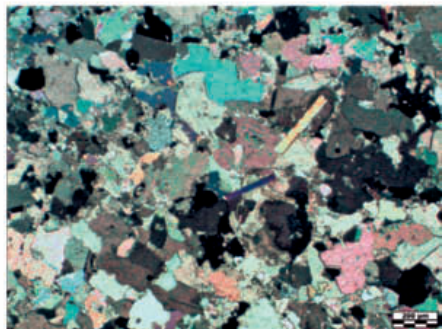
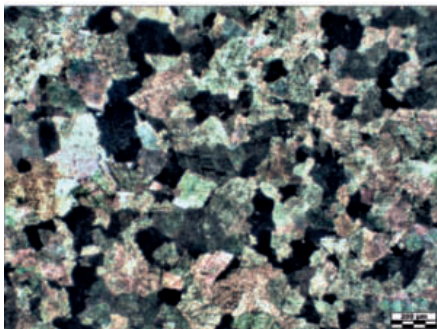
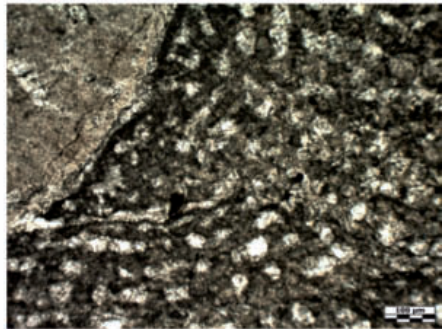
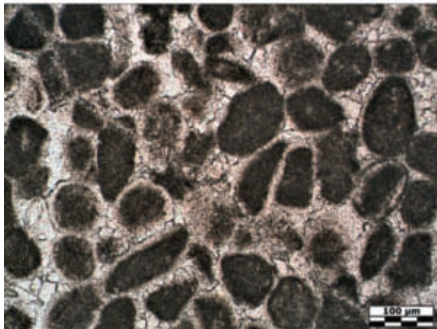
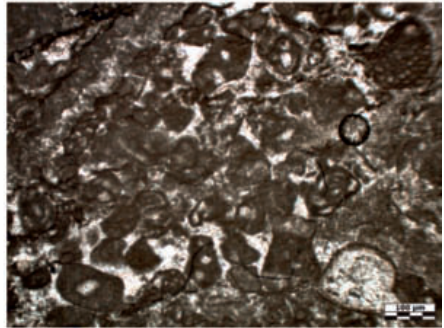
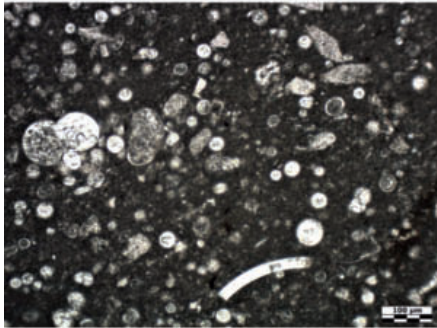
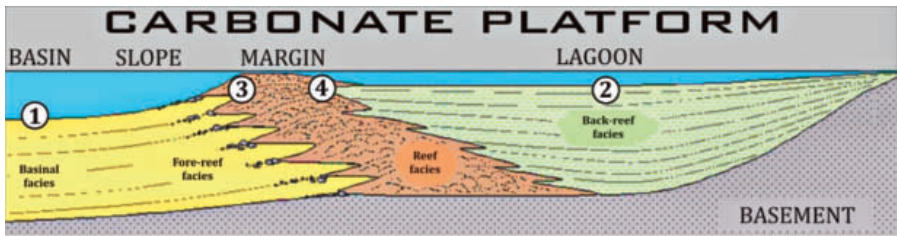
sentativer Proben von Karbonatgestein sind in **Tabelle 1** enthalten. Entsprechend der petrographischen Klassifizierung von sedimentären Karbonaten nach Dunham [2] sind sowohl schlammige Mikrofazies, d. h. Tonstein und Wacke, als auch körnige Mikrofazies – Packstone und Grainstone – enthalten. Sporadisch ist auch Riff-koralliner Boundstone anzutreffen. Außerdem findet man auch diagenetisch modifizierte Karbonatgesteine, einschließlich Sparit, Dolomit mit einer zucker körnigen Struktur sowie granoblastische, metamorphe Gesteine (z.B. Marmor) (**Bild 3**).

Eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung von Karbonatgestein besteht darin, seine mineralogische Zusammensetzung bezüglich Calcit, Dolomit und Tonverunreinigungen zu berücksichtigen (**Bild 4**).

Mineralogisch-petrographische Analysen zeigen, dass nichtkarbonatische Verunreinigungen hauptsächlich auf das Vorhandensein von detritischen Quarzkörnern, Feldspat, tonhaltigen und opaken Mineralen sowie schließlich auf organische Substanzen zurückzuführen sind. Unterschiedliche Bestandteile und Gefüge spiegeln den weiten Bereich geologischer Ursprünge



4 Klassifizierung von Karbonatgestein auf der Basis von Calcit, Dolomit und Tonmineralen. Legende der Symbole: 1-4: reiner Kalkstein; 5: kristalliner, leicht calcitischer Dolomit



5 Mikrofaziesanalyse von Karbonatgesteinsproben. Legende der Symbole: PPL: linear polarisiertes Licht; XPL: kreuzpolarisiertes Licht. a) schematisches Profil einer Karbonatplattform. Angenommene Probenorte auf der Grundlage von typischen Ablagerungstexturen und Fossilinhalt, wie folgt angegeben: 1: marine Fazies von Ablagerungen am äußeren Hang des Riffs; 2: Fazies von Lagunen hinter dem Riff; 3: Fazies von Oolith-Unterwasserriffen vom Kontinentalrand; 4: Rifffazies. b) fossile Wacke, Probe 1 aus Deutschland (PPL, 10X); c) fossiler Packstone, Probe 2 aus Südafrika (PPL, 10X); d) pisolitischer Grainstone, Probe 3 aus den VAE (PPL, 10X); e) korallenreiches Riffgestein, Probe 4 aus Malaysia (PPL, 10X); f) diagenetischer zuckerkörniger Dolomit, Probe aus Mexiko (XPL, 3,5X); g) Calcitmarmor mit Spuren von Dolomit, Quarz und Biotit, Probe 6 aus dem Kongo (XPL, 3,5X)

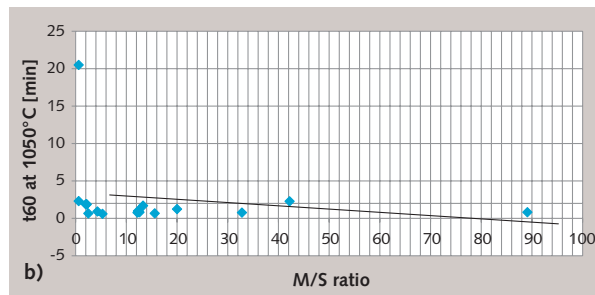
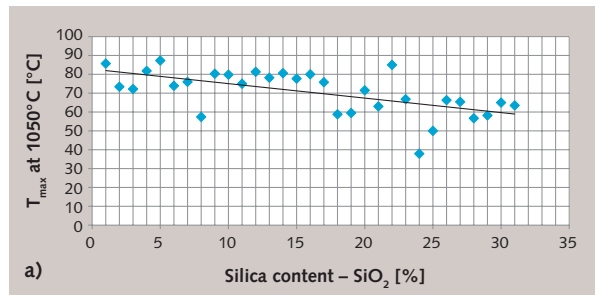
wider, einschließlich der unterschiedlichen Ablagerungs- und diagenetischen Umgebungen von Sedimentgestein, z.B. Mikrofazies, sowie der Druck- und Temperaturbedingungen von metamorphem Gestein. Bild 5 a zeigt ein schematisches Profil einer Karbonatplattform mit der Herkunft der Proben auf der Grundlage ihres Ablagerungsgefüges und ihres Fossilinhalts. Die Bilder 5 b–g zeigen repräsentative Mikroaufnahmen der wichtigsten Mikrofazies der Karbonatgesteinsproben.

Unter Berücksichtigung der Auswirkung der Zusammensetzung und der Mikrostruktur auf die Reaktivität von Branntkalk wurden einige wichtige Parameter wie z. B. der Gehalt an Siliziumdioxid ($\% \text{SiO}_2$) und das Verhältnis von Mikrit zu Sparit (M/S) der calcitischen und dolomitischen Kalksteine als Funktion der Reaktivität des Branntkalks bei 1050°C aufgetragen. Vorläufige Daten zeigen, dass je höher die Verunreinigung in Form von Siliziumdioxid ($\% \text{SiO}_2$) ist, umso geringer ist die Reaktivität in Form der maximalen Löschtemperatur (T_{max}). Außerdem verringert sich die Branntkalkreaktivität in Form des Temperaturanstiegs (t_{60}) bei einem höheren Verhältnis von Mikrit zu Sparit (Bild 6).

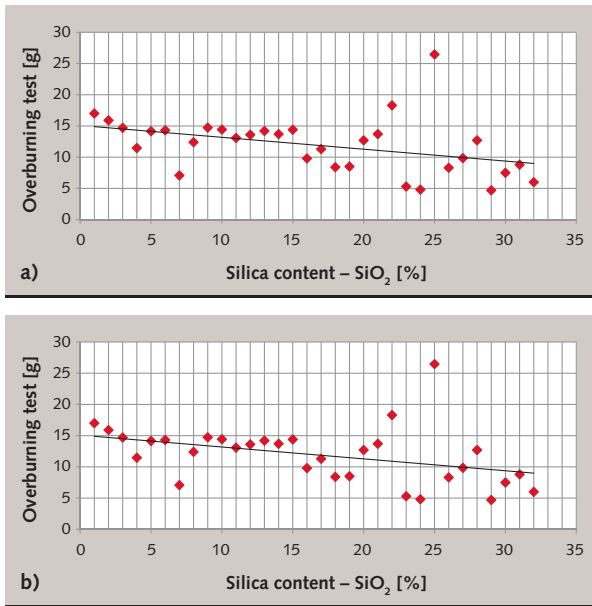
Nach früheren Autoren [3, 4] geht der allgemeine Trend dahin, dass schlammige Mikrofazies mit feineren Texturen weniger reaktiv sind als körnige, wenn identische Bedingungen der Kalzinierung und Sinterung bis 1050°C herrschen. Weitere Analysen von diagenetischen und granoblastischen Proben von Karbonatgestein werden die Wirkung der Kristallgrößenverteilung auf die Reaktivität klären. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Leistungsfähigkeit des Kalks und auch die Bedingungen der Kalzinierung stark von physikalisch-mechanischen Parametern gesteuert werden [5, 6].

4 Physikalisch-mechanische und technologische Tests sowie Versuche zum Brennverhalten

Was die physikalischen Eigenschaften betrifft, werden sowohl die Schüttdichte und die maximale Feuchte, die etwa der kapillaren Porosität entspricht, bewertet. Der letzte Parameter zeigt die Tendenz des Gesteins zum Absorbieren von Wasser auf, die als kritisch angesehen wird, wenn sie 5% überschreitet. Bezüglich der mechanischen Eigenschaften muss schwacher Kalk vermieden werden. Die Staubentwicklung wird zuerst im Labor mit dem Kalkabbautest bewertet. Dazu wird eine Standardsiebmaschine verwendet. Die Ergebnisse werden im mathematischen Modell für die Berechnung der maximalen Produktion des Ofens verwendet. Die Erfahrung zeigt, dass der Gewichtsverlust von Kalk 35% nicht überschreiten darf. Fallstudien zeigen keine Verbindung zwischen schwachem Karbonatgestein und schwachem Kalk, so dass sogar schwacher Kalk häufig aus kompakten und grobkristalli-



6 Reaktivität des Branntkalks in Abhängigkeit von den Parametern der Zusammensetzung (a) und des Gefüges (b) [8]



7 Tendenz zur Klebrigkeit, d. h. Überbrandtest, als Funktion der Zusammensetzung (a) und textueller Parameter (b) [8]

nen Karbonaten, wie z.B. Sparit und Marmor, hervorgehen kann. Wenn der Abbau von Kalk zwischen 15 und 35% liegt, wird eine Probe als akzeptabel betrachtet. In Abhängigkeit von anderen Parametern kann jedoch eine grobe Fraktion als Aufgabegut für den Ofen empfohlen werden. Schließlich simuliert der Fallversuch den Kalk, der aus dem Ofenauslauf fällt, und gestattet eine Bewertung der Staubtendenz aus den Entnahmen am Boden des Kalkbunkers.

Hinsichtlich des Brennverhaltens werden folgende technologischen Versuche durchgeführt:

- » Standard-Brennbarkeit bei unterschiedlichen Temperaturen
- » Ausdehnungsversuch bei 700 °C
- » Hochtemperaturtest bei 1300 °C, d.h. Überbrandtest

Der Ausdehnungsversuch bei 700 °C wurde erst vor kurzem eingeführt, um die Tendenz zum Verstopfen in der Vorwärmzone vorherzusagen. Normalerweise findet die Ausdehnung am Beginn

des Kalzinierungsprozesses statt und ist auf die Änderung des Volumens auf der Oberfläche des Gesteins zurückzuführen [7]. Die Erfahrung zeigt, dass die kritische Ausdehnung bei mehr als 3% beginnt. Der Überbrandtest wird durchgeführt, um die Tendenz zur Klebrigkeit des Kalks bei maximaler Temperatur vorherzusagen. Ein Rohmaterial ist nicht geeignet, wenn der zusammengeballte Kalk mehr als 47,6% wiegt. Wenn die Werte 40% übersteigen, müssen generell Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden, um ein Verstopfen des Ofens zu vermeiden. In einem solchen Fall wird im Allgemeinen eine grobe Fraktion für die Ofenaufgabe empfohlen.

Die Tendenz zur Klebrigkeit kann als eine Funktion unterschiedlicher physikalisch-

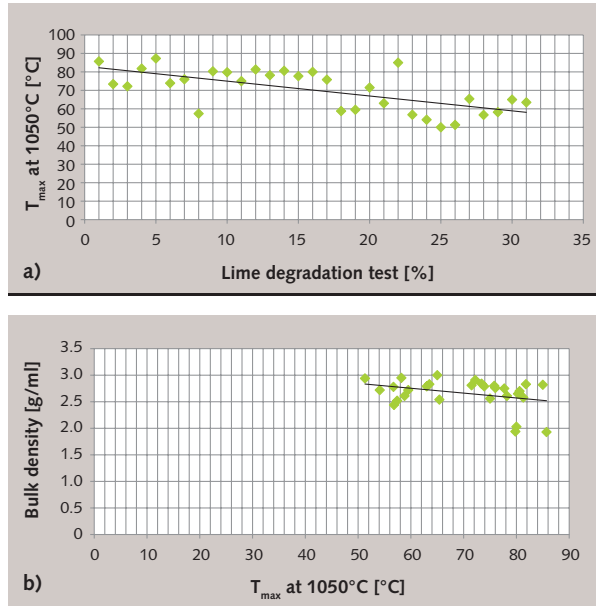
mechanischer und Zusammensetzungsparameter interpretiert werden. Fallstudien zeigen, dass ein höherer SiO₂-Gehalt zu einer geringeren Tendenz zur Klebrigkeit führen. Im Gegensatz dazu führt ein höheres M/S-Verhältnis zu einer höheren Klebrigkeitstendenz (Bild 7).

Schließlich wurde die Reaktivität auch in Abhängigkeit von den unterschiedlichen physikalisch-mechanischen Parametern untersucht (Bild 8). Eine deutliche inverse Korrelation zwischen der maximalen Löschttemperatur (T_{max}) und dem mechanischen Abbau des Kalks wurde ebenfalls beobachtet.

5 Schlussfolgerungen

Fallstudien zeigen, dass die Zusammensetzung und die Mikrostruktur von sedimentären Karbonatrohmaterialien einen Einfluss auf die Reaktivität von Branntkalk haben. Speziell graphische Darstellungen zeigen, dass ein höherer SiO₂-Gehalt zu einer geringeren maximalen Löschttemperatur (T_{max}) führt, und dass ein höheres Ver-

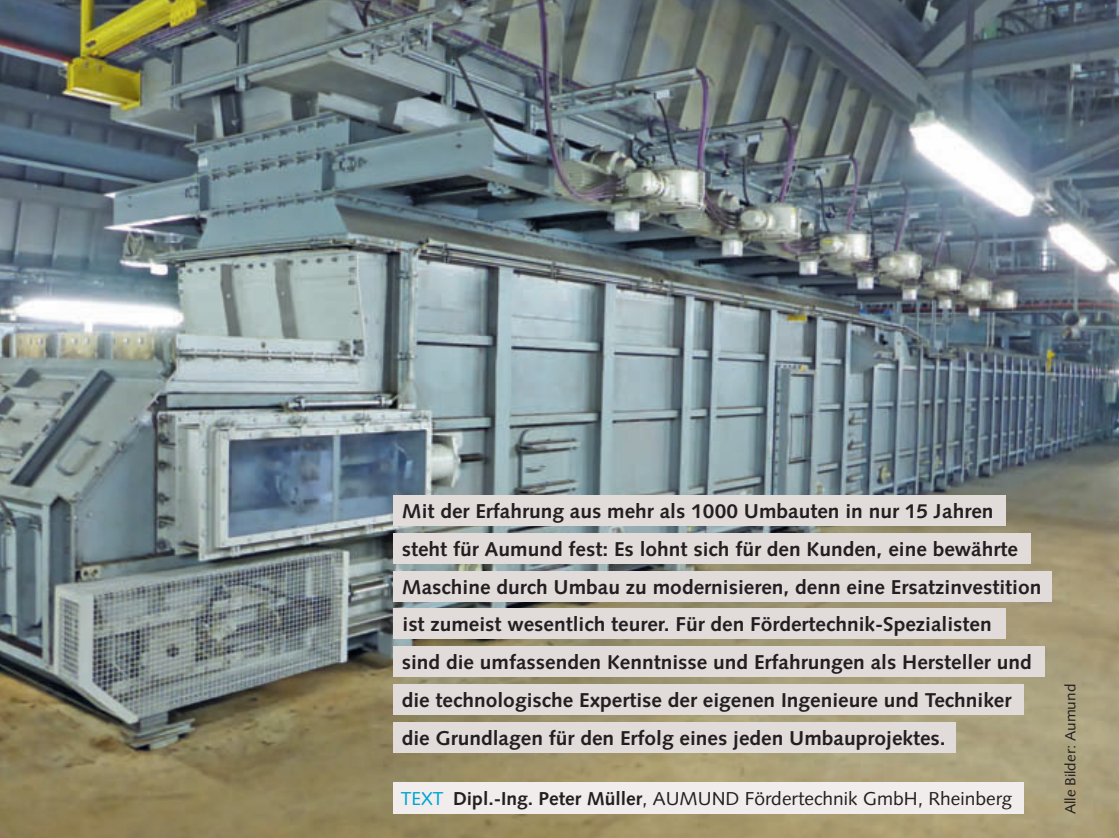
hältnis von Mikrit zu Sparit (M/S) zu einem geringeren Temperaturanstieg (t_{60}) führt). Im Ausdehnungsversuch bis 700 °C wird die Tendenz des Rohmaterials zu Verstopfungen in der Vorwärmzone des Ofens vorhergesagt, während der Überbrandtest es erlaubt, die Tendenz zur Klebrigkeit des Kalks bei einer hohen Temperatur (1300 °C) zu ermitteln. Die Erfahrung zeigt, dass je höher der SiO₂-Gehalt im Rohmaterial ist, die Tendenz zur Klebrigkeit umso niedriger ausfällt. Weitere Analysen werden die Auswirkungen der Kristallgrößenverteilung und der physikalisch-mechanischen Parameter auf die Reaktivität klären. Das erfordert jedoch technische Lösungen zur Optimierung des Ofenbetriebs.



8 Maximale Löschttemperatur als Funktion des Kalkabbau-Testes (a) und Schüttdichte als Funktion der maximalen Löschttemperatur (b) [8]

LITERATUR

- [1] European Commission (2010): "Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries", 461 pp. (esp. 224–225)
- [2] Dunham, R.J. (1962): "Classification on carbonate rocks according to depositional texture". Classification of carbonate rocks. A symposium. (eds): W.E. Ham., American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1, pp 108–171
- [3] Moropoulou, A., Bakolas, A., and Aggelakopoulou, E. (2000): "The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of the quicklime". Cement and Concrete Research, Vol. 31, No. 4, pp 633–639
- [4] Kiliç, Ö., and Mesut, A. (2006): "Effects of limestone characteristics properties and calcination temperature on lime quality". Asian Journal of Chemistry, Vol. 18, No. 1, pp 655–606
- [5] Boynton, R.S. (1980): "Chemistry and Technology of Lime and Limestone". 2nd Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, 578 pp.
- [6] Hughes, J.J. and, Corrigan, M. (2009): "Microstructural expression of temperature and residence time in laboratory calcinated limestone", 12th EMABM, Dortmund, Germany, September 15–19th, 328–334
- [7] Schiele, E., and Berens, L. W. (1976): "La calce. Calcare. Calce viva. Idrato di calcio. Fabricazione. Caratteristiche. Impieghi", Edizioni Tecniche, Milano, 588 pp., (esp. 108–109)
- [8] Vola, G., Christiansen, T., Sarandrea, L., and Ferri, V. (2013): "Carbonate rocks characterization for industrial lime manufacturing: worldwide case-studies". Proc. 14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials (EMABM 2013), 14–16th June 2013, Denmark



Mit der Erfahrung aus mehr als 1000 Umbauten in nur 15 Jahren steht für Aumund fest: Es lohnt sich für den Kunden, eine bewährte Maschine durch Umbau zu modernisieren, denn eine Ersatzinvestition ist zumeist wesentlich teurer. Für den Fördertechnik-Spezialisten sind die umfassenden Kenntnisse und Erfahrungen als Hersteller und die technologische Expertise der eigenen Ingenieure und Techniker die Grundlagen für den Erfolg eines jeden Umbauprojektes.

TEXT Dipl.-Ing. Peter Müller, AUMUND Fördertechnik GmbH, Rheinberg

Alle Bilder: Aumund

Ein Plattenbandförderer nach dem Umbau

AUMUND

Die Drei-Stufen-Umbau-Strategie

1 Steigende Nachfrage nach Umbauten

Die ständig zunehmende Nachfrage nach Umbauten bewog die Aumund Fördertechnik frühzeitig dazu, die im Unternehmen vorhandene Expertise auf dem Markt systematisch anzubieten. Die Zusammenarbeit von jungen Nachwuchskräften und erfahrenen Ingenieuren, gekoppelt an die enge Zusammenarbeit mit Kunden führte von Anfang an immer wieder zu neuen Synergien sowohl für die Produktweiterentwicklungen und Projektlösungen, als auch vor allem für das ständig wachsende und erforderliche Knowhow über Umbauten.

Wie das Umbauprojekt bei der Märker GmbH zeigt, besteht nicht immer die Notwendigkeit in eine neue Maschine zu investieren. Oft ist der Umbau einer bestehenden Anlage wirtschaftlich sinnvoller bei gleichem Niveau an Qualität und Zuverlässigkeit. Die Wiederverwendung des Stahlbaus führt beispielsweise zu einer wesentlichen Kostenersparnis von knapp einem Drittel im Vergleich zur Installation einer neuen Maschine. Ein weiteres Argument für einen Umbau ist die kurze Montagezeit und die damit verknüpften kürzeren Stillstandzeiten und geringeren Produktionsausfälle. Der Umbau eines

Becherwerks benötigt nur ein Bruchteil der Zeit, die für De- und Re-Montage einer Neuanlage zu veranschlagen wäre.

2 Vier gute Gründe für einen Umbau

Mit Blick auf über 1000 Umbauprojekte sind es vier Gründe, die für den Umbau sprechen: Kapazitätserhöhung der Anlage, Anpassung der Maschine an die räumlichen Gegebenheiten sowie Veränderungen im Werk oder im Produktionsablauf. Außerdem ist häufig der ursprüngliche Lieferant der Maschine nicht mehr im Markt, so dass zusätzlich Probleme bei der Wartung und bei der Ersatzteilbeschaffung auftreten.

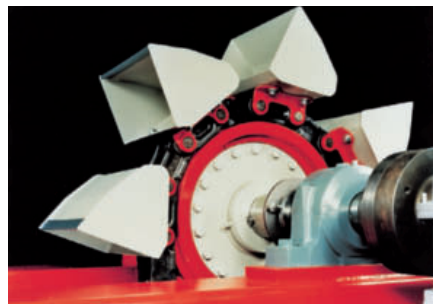
Ob und wie weit die Kapazität einer Maschine erhöht werden kann, muss in jedem Einzelfall ermittelt werden. Die Erfahrung zeigt, dass zum Beispiel der Umbau eines Rundgliedkettenbecherwerks zu einem Aumund Kettenbecherwerk mit Zentralkette zu einer Verdoppelung der Leistung führt (Bild 1 und 2). Gegebenenfalls sind in diesem Zusammenhang auch Anpassungen an Materialeinlauf und Materialabwurf notwendig. Um ein optimales Abwurfverhalten bei einem Becherwerk zu erreichen, wird der Abwurfprozess mittels einer digital berechneten Abwurfparabel untersucht (Bild 3). Anpassungen am Materialabwurf auf Basis der Analyse der Abwurfparabel optimieren den Abwurf des Materials in den Abwurfbereich (Bild 4).

Beispielsweise können sich der Transportweg oder die Zahl der Abwurfstationen ändern. Aumund-Ingenieure begutachten und erfassen vor Ort die veränderte Situation und entwickeln in enger Abstimmung mit dem Kunden ein passendes Umbaukonzept für die bereits vorhandenen Anlagen. Aumund entwickelt seine Maschinen auf Grund neuer Erkenntnisse aus der Materialforschung und auf Grund neuer Technologien weiter. So haben Ingenieure des Unternehmens eine Methode zur Steigerung der Seitenstabilität von Becherwerksguten entwickelt.

Entsprechende Aumund-Gurte haben im Kern eine Lage längsverlaufender, ununterbrochener Stahlseile, die für eine Längsstabilisierung sorgen, und eine Lage querverlaufender

Stahlseile, die eine Seitenstabilität garantieren. Ein Umbau von Kettenbecherwerken auf Gurtbecherwerke mit derartigen Aumund-Gurten, hat nicht nur wirtschaftliche Vorteile. Das gegenüber einer Kette geringere Gewicht eines Gurtes, macht das Erreichen deutlich größerer Höhen, im Vergleich zum Kettenbecherwerk, möglich. In dem mit 175 m Förderhöhe einem der weltweit höchsten Becherwerke der Ambuja Cement in Indien, wurde im Rahmen eines Umbauprojektes ein bereits existierendes Becherwerk eines anderen Herstellers zu einem Aumund Gurtbecherwerk umgebaut.

Die Lebensdauer der Maschinen ist in manchen Branchen länger als der Hersteller oder Lieferant im Markt ist. Das führt früher oder später zu dem Problem, dass Service und Ersatzteilversorgung nicht mehr vom Ursprungslieferanten gesichert werden können. Ein Umbau durch Aumund verschafft derartigen bewährten und gut funktionierenden Maschinen ein „neues Leben“. Beim Umbau solcher Anlagen recherchieren die Techniker und Ingenieure zunächst, inwieweit noch Konstruktionszeichnungen vorhanden sind. Falls keine Unterlagen mehr verfügbar sind, werden für den Umbau die erforderlichen Zeichnungen neu erstellt. Notwendige Umbauteile werden aus dem Aumund Originalteil-Lieferprogramm entnommen. So kann Aumund dem Kunden zusätzlich zum Umbau auch einen langfristigen Ersatzteil-Lieferservice garantieren und zusätzlich einen Aumund Preventative Maintenance Service PREMAS® anbieten.



1 Aumund Kettenbecherwerk mit Zentralkette



2 Beispiel für ein Rundgliedkettenbecherwerk

3 Die „Drei Stufen-Strategie“ von Aumund

Umbauten sind immer eine Gratwanderung zwischen maßgeschneiderten, und somit teuren Lösungen für den Kunden einerseits und kostengünstigen, häufig aber technisch begrenzten Standardlösungen andererseits. Auf Basis seiner Herstellerkompetenz hat Aumund eine eigene Standardisierung der zu verwendenden Bauteile und durchzuführenden Prozessschritte entwickelt. Diese Standards werden in jedem Einzelfall zu einer für den Kunden optimierten Umbaulösung zusammengeführt. Dabei hilft, dass sich die Spezialisten des Unternehmens nach über 1000 Umbauten nicht nur mit den eigenen Maschinen, sondern auch mit den Maschinen und Anlagen des Wettbewerbs und der auf dem Markt nicht mehr existierenden Hersteller auskennen.

Umbaustufe I: das Zugmittel wie Kette oder Gurt wird erneuert. Meist handelt es sich um Becherwerke mit Zentralkette (BWZ), Gurtbecherwerke (BWG) oder Kurzzellenbänder (KZB, Bild 5). Die Becher der Becherwerke, die Trommeln oder der Antriebsstrang werden unverändert weiterverwendet. Nur ein Minimum an Ersatzteilen wird neu in die Maschine eingebracht.

Umbaustufe II: hier werden alle Teile mit Ausnahme des Stahlbaus ersetzt. Beim Umbau eines Rundgliedkettenbecherwerks in ein Aumund Zentralkettenbecherwerk werden bei-

spielsweise neben dem Zugmittel der Antrieb mit der Antriebswelle und allen Lagern, die Becher mit ihren Befestigungen am Zugmittel und die komplette Spannachse ersetzt.

Umbaustufe III: über das Spektrum von Level II hinaus wird hier auch der Stahlbau erneuert. Das kann soweit führen, dass beispielsweise der Verlauf eines Kurzzellenbandes geändert wird, sofern der zur Verfügung stehende Platz es erlaubt (Bild 6).

Umbauten werden durchgängig von Aumund-Richtmeistern, Ingenieuren und Technikern überwacht und geleitet. Dadurch kann sich der Kunde auf eine nachhaltige Qualitätssicherung verlassen.

4 Umbauten auch in anderen Industrien von Interesse

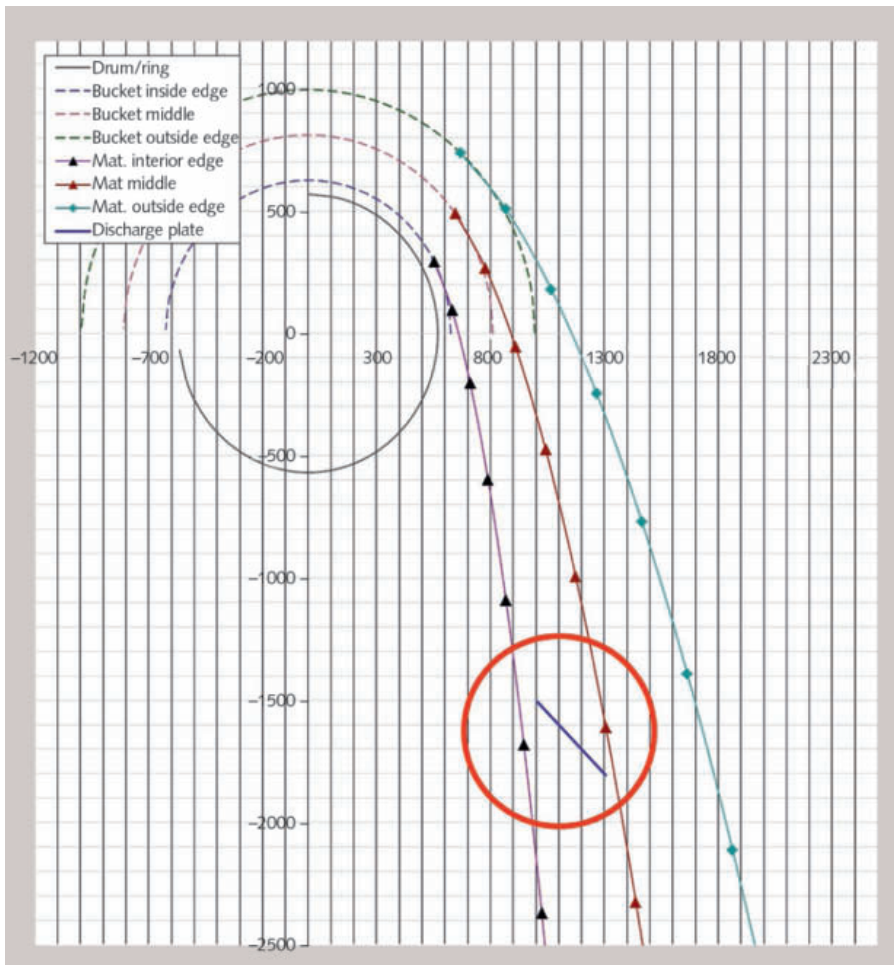
Die Drei-Stufen-Strategie von Aumund basiert auf standardisierten und somit zuverlässigen Ablaufprozessen die von einer Ersatzteillieferung bis hin zu einer komplexen Umbaulösung reicht. Dabei sind die Leistungen nicht auf die Zementindustrie begrenzt. Für jedes Unternehmen, dessen Produktionsprozess auf Anlagen zum maschinellen Transport von Massengut nicht verzichten kann, kann ein Umbau die Alternative zu einer deutlich teureren Ersatzinvestition bei vergleichbarem Ergebnis sein.

Im Kraftwerk der RWE Power AG in Grevenbroich-Neurath bedienen insgesamt 16 Buckelplattenbänder als Kohlezuteiler die Kohlemöhlen der Kraftwerksblöcke F und G. Die Blöcke erzeugen jeweils 1100 MW und sind direkt bei der Errichtung 2012 mit einer optimierten Anlagentechnik ausgerüstet worden. Die hierbei eingebauten Plattenbänder eines anderen Herstellers entsprechen jedoch nicht den Anforderungen des Betreibers. Bereits kurz nach der Erst-Inbetriebnahme, hatten die Aumund-Ingenieure eine Inspektion der vorhandenen Förderer durchgeführt. Dabei stellten sie fest, dass die vorhandenen Plattenbandförderer auf Basis von Rundgliederketten eines Fremdherstellers nach kurzer Laufzeit stark verschlissen waren. Sie zeigten außerdem erhebliche mechanische Mängel und erfüllten die Anforderungen des

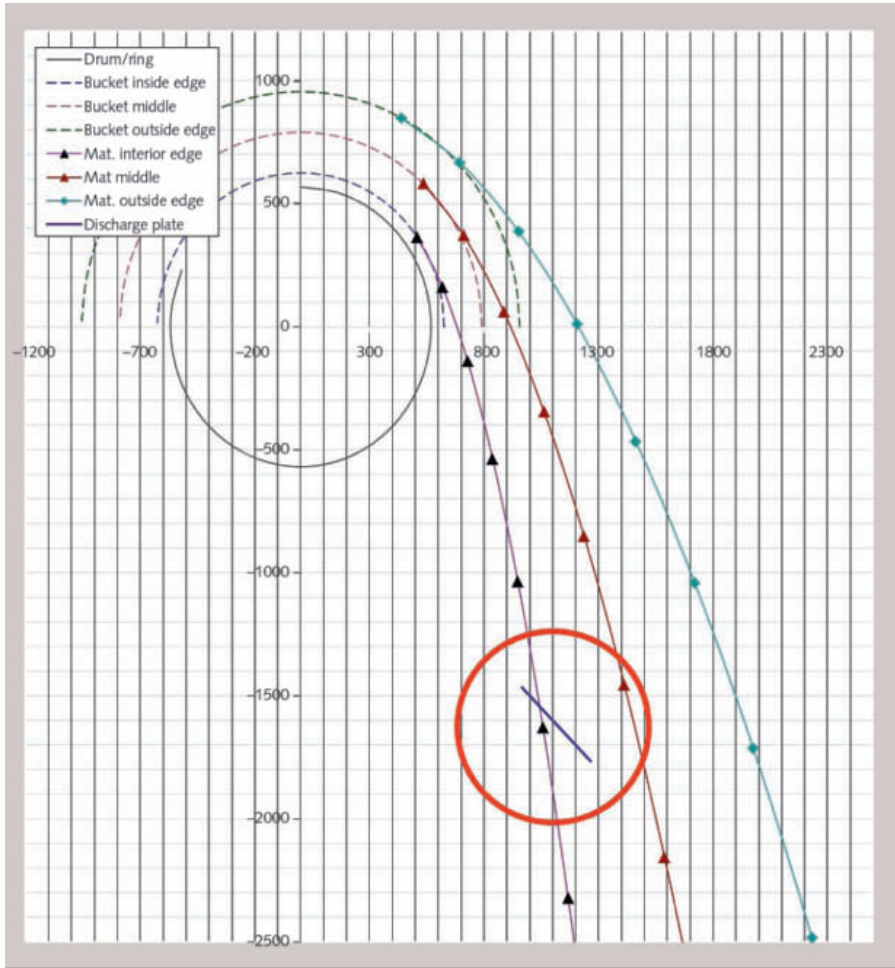
Kunden hinsichtlich der Druckdichtigkeit nicht. Hohe Stillstandzeiten und Wartungskosten waren die Folge. Aufgrund der konstruktiven Mängel und der damit verbundenen hohen Instandhaltungskosten wurde Aumund beauftragt, die vorhandenen, erst zwei Jahre alten Plattenbänder, zu optimieren. Nach einer genauen Analyse der Situation und der vorhandenen Maschinen wurde ein Umbau gemäß Stufe II in Angriff genommen.

Innerhalb der turnusgemäßen Stillstandzeiten des Werkes wurden die vorhandenen Förderer teilweise bei laufendem Kessel durch die Umbauspezialisten umgerüstet. Damit konnte bei den stark verschlissenen Förderern eine Generalüberholung bei gleichzeitigem unplanmäßigen Kesselstillstand vermieden werden.

Die Gehäuse der alten Maschinen wurden weitestgehend erhalten und zusätzlich verstärkt. Im Außenbereich der Maschinen wurden Ge-



3 Abwurfparabel vor der Anpassung



4 Abwurfparabel nach der Anpassung

triebe, Motor und Lager weiter verwendet. Im Inneren hingegen wurden sämtliche Komponenten einschließlich der Antriebswellen durch Aumund -Maschinenteile der Baureihe BPB 250 ersetzt. Zur Minderung der Kettenbruchlast und zur Vermeidung der Durchbiegung der Mitnehmer wurde der vorhandene Reinigungsförderer von Zwei- auf Dreistrang umgerüstet. Alle Antriebe der 16 Kohlezuteiler sowohl von der Maschine wie auch von den Reinigungsförder-

ern wurden beibehalten. Im Zuge des Umbaus entschied sich RWE für leichte Plattenbänder mit einer durchschnittlichen Förderleistung von 150 t/h. In Spitzenzeiten können sie maximal 200 t/h fördern.

Die Anpassung der neuen Maschinen an die vorhandenen Gehäuse machte einige konstruktive Änderungen nötig, um gleichzeitig Passgenauigkeit und die notwendige Förderleistung der Maschinen zu erreichen. Aumund setzte

hierbei auf geschweißte Plattenbänder, die sehr individuell für die Anbindung an den Bunker angepasst werden mussten.

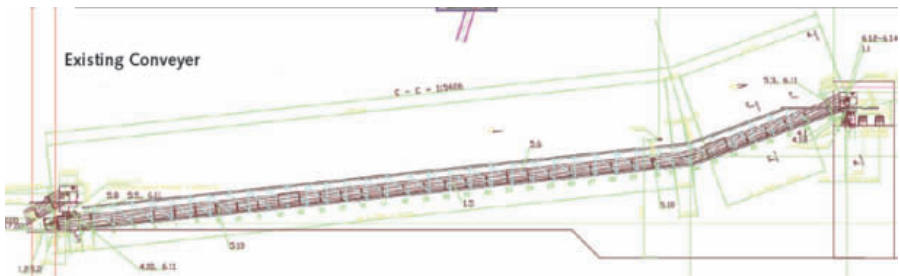
Um die geforderte Förderleistung bei maximaler Geschwindigkeit zu erreichen wurde der Bandquerschnitt derart optimiert, dass er in den vorhandenen Bauraum eingebracht werden konnte – „Eine wirkliche Herausforderung und ingenieurtechnische Meisterleistung“, erinnert sich Peter Müller. Auf Grund der unter Unterdruck erfolgenden Beschickung der Kohlemühlen wurde besonderes Augenmerk auf eine bessere Abdichtung des gesamten Gehäuses gelegt.

Die an den Bunkerausläufen auftretenden Belastungen konnten von den ursprünglich einfachen Winkelblechen nicht aufgenommen werden. Die auftretenden Materiallasten unter den Bunkerausläufen wurden durch den Einbau eines Prallträgers kontrolliert. Bei einer erhöhten Bordhöhe musste der Rückführförderer abgesenkt werden, außerdem wurde auf ein kleineres Kettenrad umgebaut. Bei der Ausstattung der Plattenbänder setzten die Konstrukteure auf die Aumund Kette AU6052. Mit dem neu gewählten Kettensystem konnten die Standzeiten gegen-

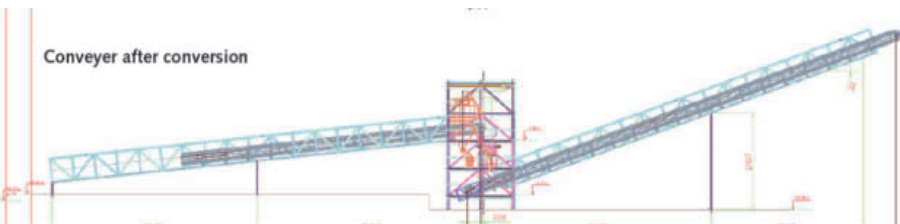
über der vorherigen Rundgliederkette deutlich erhöht werden. Der Einsatz neuer Mitnehmer zwischen den Kettensträngen sowie das Absenken der Spannachse rundeten die Umbaumaßnahmen ab. Aumund übernahm in der Abwicklung dieses Projektes Konstruktion, Fertigung und Montageaufsicht.

5 Umbauten haben Zukunft

Die Aumund Fördertechnik GmbH hat sich in den vergangenen mehr als 90 Jahren zum Spezialisten für Lösungen bei Transport und Lagerung schwieriger Schüttgüter entwickelt. Ein besonderer Bereich der Expertise ist seit rund 15 Jahren der Umbau und die Erneuerung vorhandener Maschinen aus eigener oder fremder Herstellung. Sie finden sich in der Zementindustrie genauso, wie in der Metallurgie, in Kraftwerken, in der Mineralienindustrie und im Bergbau. In all diesen Branchen nimmt der internationale Wettbewerb ständig zu. Das macht zum einen die Kosten zum ständigen Thema. Zum anderen gewinnt dadurch auch die Minimierung von Stillstandzeiten stark an Bedeutung. Stillstand bedeutet Produktionsausfall und Produktions-



5 Kurzzellenband vor dem Umbau



6 Kurzzellenband nach dem Umbau



7 Auf Aumund-Standard umgebaute Trogkettenförderer

ausfälle bedeuten recht schnell den Verlust von Kunden und die Schwächung der eigenen Marktposition. Kürzere Stillstandzeiten bei geringeren Kosten sind daher zwei entscheidende Eigenschaften, die Umbauten in diesem Marktumfeld eine Zukunft garantieren. Mit der Erfahrung aus mittlerweile deutlich mehr als 1000 Umbauten hat die Aumund Fördertechnik GmbH sich einen Wissenschatz und eine Expertise für Umbauprojekte erarbeitet, der zunehmend weltweit gefragt wird.

Mit dem erfolgreichen Umbau einer Maschine ist die Arbeit jedoch nicht abgeschlossen. Auch ihre Wartung und Kontrolle liegt bei Aumund in erprobten Händen. Das weltweite Netzwerk von acht Niederlassungen und zahlreichen Repräsentanzen, sechs Ersatzteillager

und Service Center garantiert eine kundennahe, umfassende Service-Betreuung auch nach dem Umbau und eine Langzeit-gesicherte Ersatzteil-Versorgung.

6 Zusammenfassung

Sowohl aus wirtschaftlichen und zukunftsweisenden als auch aus technologischen Gründen ist der Umbau einer Maschine eine bemerkenswerte Alternative zum Neuerwerb eines Becherwerks, eines Plattenbandes oder einer anderen Maschine zum Transport von Massengut. Einsparungen von 30% und mehr bei den Kosten sprechen eine deutliche Sprache. Zudem verursacht ein Umbau deutlich geringere Stillstandzeiten und Produktionsausfälle, als der Einbau einer Maschine.

www.aumund.de



CPB

Christian Pfeiffer

Arbeiten Sie für die stärksten Mühlen der Welt!

Als Technologieführer entwickelt CPB Systemkomponenten für Mahlanlagen weltweit. Faszinierende, industrielle Hightech-Lösungen mit energiegeladenen Spielräumen für **Ihre Ingenieursleidenschaft.**

- Mahlkomponenten entwickeln (für Zement, Quarzsand, Erze, etc.)
- Systeme analysieren und optimieren
- Anlagen planen und errichten
- Lösungen schnell in die Praxis umsetzen

Jetzt informieren!



Christian Pfeiffer

www.christianpfeiffer.net

In einer Vielzahl von Einsätzen hat sich das Konzept eines chromerzfreien

PERILEX® bestätigt, so dass ein neues, innovatives und zukunftssicheres

basisches Produkt für die Zustellung von Zementdrehöfen zur Verfügung steht.

TEXT Dipl.-Ing. Dr. Hans-Jürgen Klischat, Leiter Forschung & Entwicklung, Qualitätsmanagement,
Dr. Carsten Vellmer, Produktentwicklung geformte Feuerfestprodukte,
Dipl.-Ing. Holger Wirsing, Leiter Produktentwicklung geformte Feuerfestprodukte,
Refratechnik Cement GmbH, Göttingen



Einbau von PERILEX®

REFRATECHNIK CEMENT GMBH

Smarte Feuerfestlösung für spannungsbelastete Drehöfen

1 Einleitung

Die Verlängerung der Laufzeit eines feuerfesten Steines trägt wesentlich zur Effektivität von Ze-

mentofenanlagen und zum Schutz der Umwelt bei, da weniger feuerfestes Material produziert werden muss und zusätzlich Ofenstillstände im



Zementwerk vermieden oder zumindest reduziert werden können mit entsprechender Senkung der spezifischen Energieverbräuche und auch der Emissionen [1].

So sank der spezifische basische Feuerfestverbrauch von 1,2 kg/t Klinker im Jahr 1970 auf einen Wert von derzeit 0,72 kg/t Klinker (Bild 1). Zu diesem sehr positiven Wert, selbst mit zunehmender Verwendung alternativer Brenn- und Rohstoffe, hat sicherlich in neuerer Zeit auch die Entwicklung der AF-Technologie durch die Refratechnik Cement GmbH beigetragen.

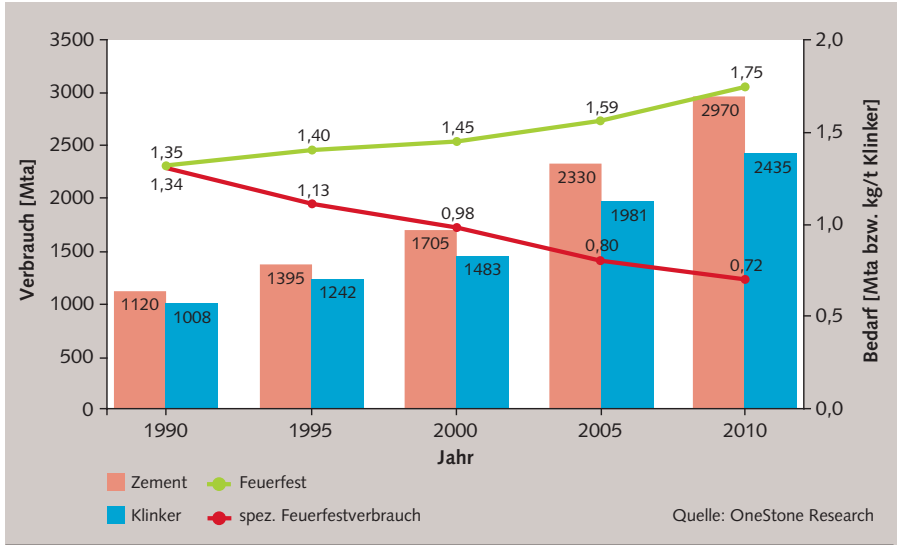
2 Einsatz thermomechanisch unempfindlicher Magnesiachromitsteine

Einen bereits in der Vergangenheit nicht unwesentlichen Anteil an diesem Trend hatte die Einführung der Steinsorte PERILEX® 80 im Jahr 1967. Schon zu dieser Zeit war der Grundgedanke des Umweltschutzes derart verankert, dass man den bis dahin festgeschriebenen Gehalt an Chromoxid im Stein auf ca. 4% halbierte. Die bis zu diesem Zeitpunkt verwendeten, sogenannten direktgebundenen Steine, deren Einsatzgebiet vornehmlich in der Stahlindustrie liegt, erwiesen sich für die dynamischen, durch die Ofendrehung hervorgerufenen mechanischen Spannungen als zu spröde. Dies äußerte sich in kürzeren Laufzeiten und einem vorzeitigen Abplatzen.

Der damals neu entwickelte PERILEX® 80 baut dagegen auf einem europäischen Magnesia-sinter auf, dem durch ausgefeilte Brenntechnik und Einsatz speziell ausgesuchter Chromerze eine besonders elastische Art der direkten Brückenbindung zwischen Chromerz und Magnesiamatrix verliehen wurde (Bild 2).

Zusätzlich besitzt die verwendete Sintermagnesia eine effektive Kristallplastizität, so dass auftretende thermomechanische Spannungen durch das Drehofenmauerwerk nicht nur elastisch, sondern auch plastisch rissfrei abgebaut werden können. Die Einbindung grobkristalliner Periklase in eine Periklas-Magnesioferrit-Spinellmatrix zusammen mit der minimierten Menge an elastifizierendem Chromerz verleiht dem Stein ein ausgewogenes Gebrauchsverhältnis zwischen Temperaturwechselbeständigkeit, spannungsabbauendem Kriechverhalten und chemischer Resistenz. Diese herausragenden Eigenschaften [2] sorgten dafür, dass PERILEX® 80 häufig unter mechanischer und/oder thermomechanischer Belastung ein besseres Ergebnis als Magnesiaspinellsteinsorten erzielte.

Aufgrund seiner hervorragenden Eigenschaften wurden von PERILEX® 80 seit dem Jahr 1967 weit mehr als 2 Mio. t hergestellt (> 200 Millionen Steine). In den Dimensionen der Zementindustrie ist das eine Ausmauerungsstrecke von 208 km in einem Ofen mit 4,50 m Durchmesser.

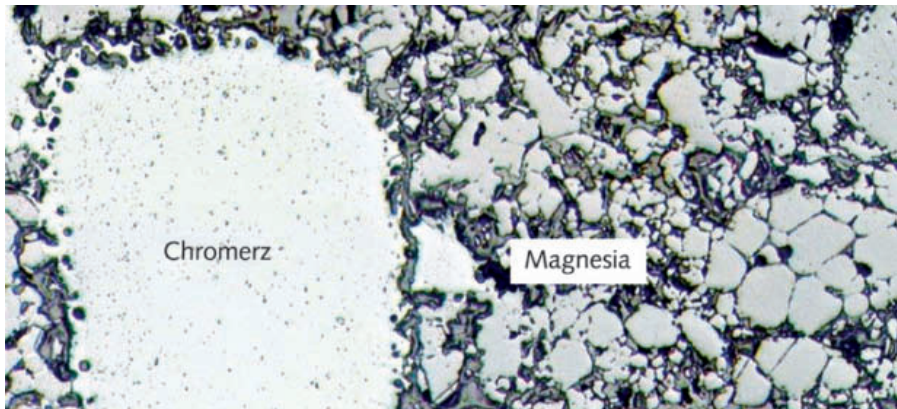


1 Trends im spezifischen basischen Feuerfestverbrauch für die Herstellung von Zement

3 Grundlagen des thermomechanischen Spannungsabbaus

Technisch ist ein Maß für den thermomechanischen Spannungsabbau der sogenannte Spannungsempfindlichkeitsindex SEI (stress sensitivity index SSI), der den Einfluss des Elastizitätsmoduls, der Wärmedehnung, der Zementofenvalütätsspannungen und der me-

chanischen Steifigkeit beschreibt (Bild 3) [3]. Je kleiner dieser Wert, desto höher ist das Spannungsaufnahmevermögen des Steines und damit der feuerfesten Ausmauerung. Bild 4 zeigt, dass die Steinsorte PERILEX® 80 aufgrund der speziellen Zusammensetzung und Herstellungstechnologie bereits einen ausgezeichneten Wert aufweist, der ansonsten nur



2 Mikrogefüge des PERILEX® 80

von hochgezüchteten Magnesiaspinellsteinen erreicht werden kann.

Ein weiterer Faktor des zerstörungsfreien, thermomechanischen Spannungsabbaus ist das Fließen, im Labor simuliert durch die Methode des Druckfließens nach [4] (Bild 5). Dieses Verfahren dient zur Beurteilung der zeitlichen Verformung bei konstantem Druck und konstanter Temperatur über einen definierten Zeitraum, meist 25 Stunden. Generell ist ein ausgewogenes Verhalten anzustreben, da ein zu geringes Druckfließen die thermomechanischen Spannungen nicht mindert und zu Abplatzungen führen kann, wenn die Steinelastizität nicht ausreichend ist. Ein zu hohes Druckfließen bei gleichzeitig niedriger Druckfeuerbeständigkeit (Druckerweichen) hält höheren thermischen Beanspruchungen nicht ausreißend stand. Generell ist ein hoher ta-Wert von $\geq 1550\text{ °C}$ der Druckfeuerbeständigkeit für den Einsatz basischer Steine in Zementdrehöfen notwendig.

Bild 5 zeigt typische Kurven von Steinen mit niedrigem und mit erhöhtem Druckfließen. Für den thermomechanischen Spannungsabbau kennzeichnende Größen sind D_{max} als maximale Dehnung des Steines und verantwortlich für die Höhe der sich ausbildenden Spannung, und $D_{\text{max}}-Z$ (25 h) als Maß für den thermomechanischen Spannungsabbau.

4 Entwicklung und Eigenschaften spannungsminimierender, chromerzfreier Steine

Die Gesamtheit der Eigenschaften zeigt das hervorragende Einsatzverhalten von PERILEX® 80. Obwohl dieser Stein bereits auch unter um-

$SEI = \sigma_{\text{wD}} + \sigma_{\omega} - KDF$

σ_{wD} Wärmehdehnungsspannung
 σ_{ω} Ovalitätsspannung
 KDF Kaltdruckfestigkeit

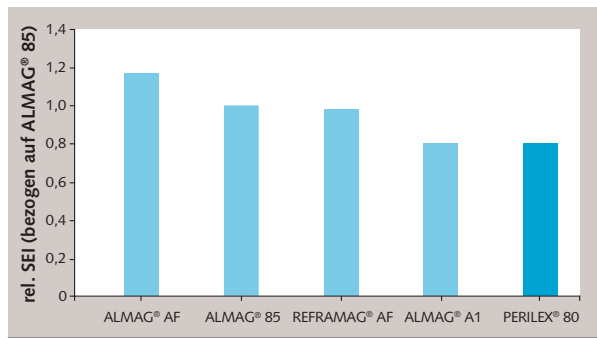
$SEI = \frac{D_{\text{max}}}{100\%} \cdot \frac{T_0}{1450\text{ °C}} \cdot E_d + K_{\text{zul}} \cdot E_d - KDF$

D_{max} maximale Dehnung im DE-Versuch in %
 T_0 Temperatur der maximalen Dehnung in °C
 E_d dynamischer Elastizitätsmodul
 K_{zul} Zulässigkeitsfaktor Ovalität ($0,67 \cdot 10^{-3}$)

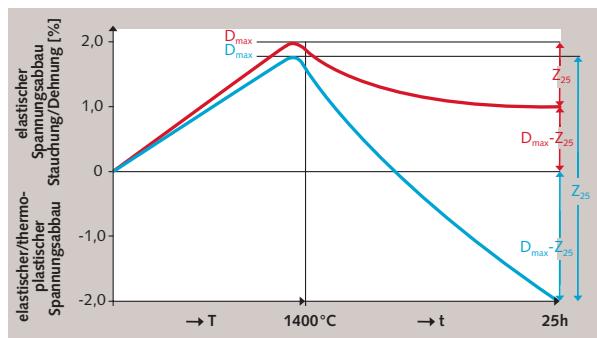
Ziel: $SEI < 550\text{ N/mm}^2$

3 Definition des Spannungsempfindlichkeitsindex (SEI) für basische Drehofensteine

welttechnischen Gesichtspunkten durch Minimierung des Chromerzgehaltes entwickelt wor-



4 Spannungsempfindlichkeitsindex (SEI) für verschiedene basische Feuerfeststeinsorten



5 Typische Druckfließkurven für basische Feuerfeststeine mit unterschiedlichem Spannungsrelaxationsverhalten

Tab. 1 Chemische Zusammensetzungen von Chromerz, Spinell und pleonastischem Spinell

	Chromerz	Spinell	pleonastischer Spinell
SiO ₂	0,5–2	< 0,5	< 2,0
Al ₂ O ₃	10–25	67	35–60
Fe ₂ O ₃	14–28	< 0,5	20–30
Cr ₂ O ₃	30–48	–	–
MgO	12–20	32	20–50
CaO	< 0,8	< 0,5	< 0,5

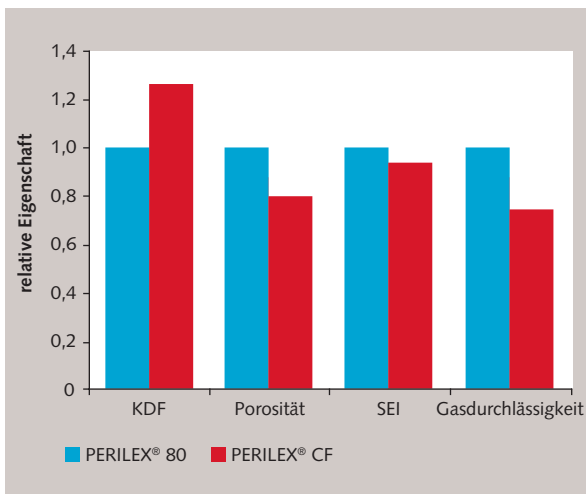
den war, konnte ein chromerzfreier Stein auf derselben europäischen Rohstoffbasis wegen nicht ausreichender Feuerfestigkeit bis jetzt nicht umgesetzt werden.

Aufgrund neuer Rohstoffentwicklungen [5] [6] konnte das Konzept eines pleonastischen Spinells als Elastifizierer auch auf ein Produkt auf Basis eines eisenreichen Rohstoffes übertragen werden. Pleonastischer Spinell, also ein Spinell aus dem System MgO-Al₂O₃-FeO_x, ist in seiner Zusammensetzung einem Chromerz verwandter als beispielsweise Magnesiumaluminiumspinell (Tab. 1). Das Chromoxid des Chromerzes wird durch die Oxide Al₂O₃, MgO und im geringeren Umfang auch durch Fe₂O₃ ersetzt.

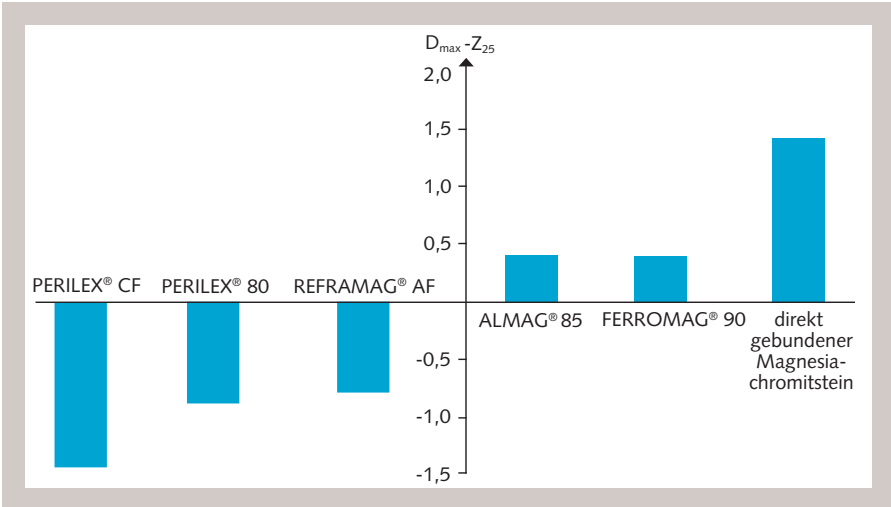
Unter Anwendung der bewährten AF-Technologie konnte aus dem vom PERILEX® 80 bekannten verfügbaren eisenoxidhaltigen Magnesiasinter und dem synthetischen Rohstoff pleonastischer Schmelzspinell der thermomechanisch unempfindliche Stein PERILEX® CF entwickelt werden, der außergewöhnliche physikalische Eigenschaften und eine hervorragende Temperaturwechselbeständigkeit aufweist. Gegenüber einem PERILEX® 80, mit seinen besonderen Einsatzigenschaften, konnte die mechanische Festigkeit unter Beibehaltung der bewährten Feuerfestigkeit um mehr als 20% erhöht werden (Bild 6).

Aufgrund einer signifikant niedrigeren Porosität von ca. 13–15% gegenüber einem Wert von 17–19% bei Magnesia-chromitsteinen wird, in Verbindung mit einer Senkung der Gasdurchlässigkeit von ca. 4 nPm auf 3 nPm, sogar eine deutliche Erhöhung des Infiltrationswiderstandes um 25% erreicht, ohne dass andere Eigenschaften beeinflusst werden.

Der Spannungsempfindlichkeitsindex und die Elastizität entsprechen denen des PERILEX® 80. Die für den thermomechanischen Spannungsabbau entscheidende Größe des Druckfließens bleibt erhalten, daher ist auch PERILEX® CF spannungsreduzierend und thermoplastisch (Bild 7). Die



6 Vergleich der Eigenschaften von PERILEX® 80 und PERILEX® CF



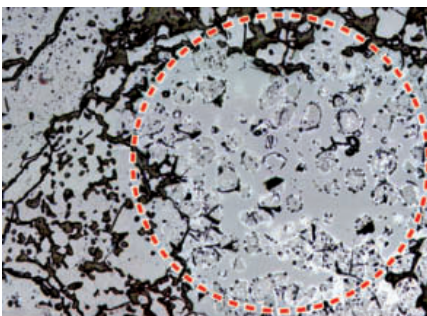
7 Thermoplastische Spannungsrelaxation verschiedener basischer Steinsorten durch kontrolliertes Druckfließen

thermochemischen Vorteile des pleonastischen Spinells resultieren auch aus dem Gefügedesign (Bild 8).

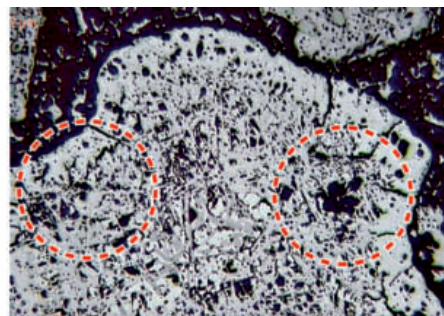
Ein (MgO-freier) Hercynit kann mit der ihn umgebenden Matrix durch Diffusion von MgO und Eisenoxid interagieren [7], woraus lokale Porositäten und Gefügeinhomogenitäten resultieren, die einem Angriff durch Zementklinkerschmelze weniger Widerstand entgegensetzen. Im Gegensatz dazu werden derartige aktive Re-

aktionen mit dem MgO-haltigen, pleonastischen Spinell nicht beobachtet, so dass eine Korrosionsbeständigkeit auf hohem Niveau gegeben ist. Der pleonastische Spinell verhält sich dabei ähnlich wie der Magnesiumaluminiumspinell, der ebenfalls nicht signifikant mit seiner Umgebung interagiert.

Obwohl Magnesiachromitsteine technisch unbestritten nach wie vor Standarderzeugnisse für Zementöfen sind, hat ihre Bedeutung ge-



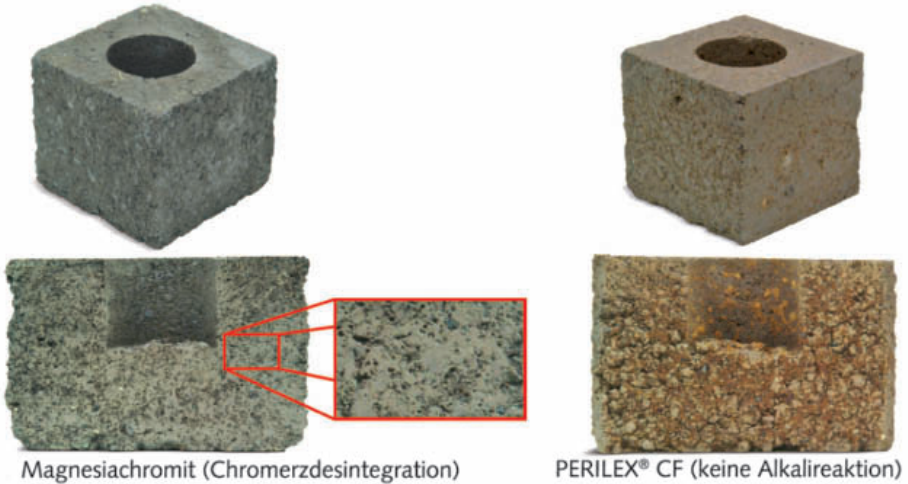
Pleonastischer Schmelzspinell



Schmelzhercynit

8 Vergleich des Gefüges basischer Steine mit pleonastischem Schmelzspinell (links) und mit Schmelzhercynit (rechts, gekennzeichnet durch Gefügeinhomogenitäten)

PROCESS



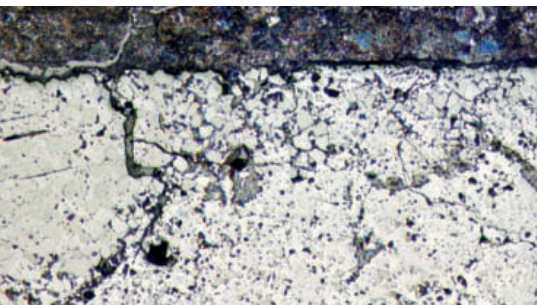
9 Vergleich der Alkalibeständigkeit eines Magnesiochromitsteins und des PERILEX® CF mittels Alkalitiegeltest bei 1350 °C

genüber spinellhaltigen Magnesiateinen aus Umweltgründen signifikant abgenommen. In oxidierender Atmosphäre und in Gegenwart von Alkalioxiden, also Bedingungen, wie sie in Zementöfen vorherrschen können, kann es zu einer Zersetzung des Chromerzes unter Bildung von toxischem Alkalichromat kommen [8]. Neben der Umweltbelastung wird auch der Elastifizierer korrodiert, so dass die Steine zusätzlich verspröden können. Dieses Verhalten lässt sich gut im sogenannten Alkalitiegeltest nach [9] bei einer Temperatur von 1350 °C mit

Kaliumcarbonat als Reagenz simulieren (Bild 9). Der Tiegel eines Magnesiochromitsteines zeigt an den Stellen, an denen das Chromerz vorlag, deutliche Löcher, bedingt durch den Abbau dieses Mineralen. Die Folgen sind der Verlust der Steinelastizität und die Bildung von Chromat. Bei einem Tiegel aus dem chromerzfreien PERILEX® CF ist eine derartige Reaktion naturgemäß nicht zu beobachten, da er keine durch Alkalien korrodierbaren Minerale enthält.

Neben dem Vorteil des thermochemisch beständigen Pleonastes, der gegenüber Zementklinkerangriff stabiler als ein Hercynit ist [10], kommt zusätzlich der Nutzen eines eisenreichen Magnesiasinters zum Tragen, der eine größere Ansatzfreudigkeit als ein eisenarmer natürlicher oder synthetischer Magnesiasinter zeigt (Bild 10).

Das Ansatzverhalten von Magnesiapleonaststeinen auf Basis dieser Rohstoffe ist aufgrund der Gegenwart von pleonastischem Spinell, Magnesioferrit und auch Belit demjenigen von Magnesiahercynitsteinen oder sogar Magnesiochromitsteinen überlegen. Die Gegenwart hochviskoser Calciumferrit- und Calciumaluminatverbindungen aus Reaktionen zwischen

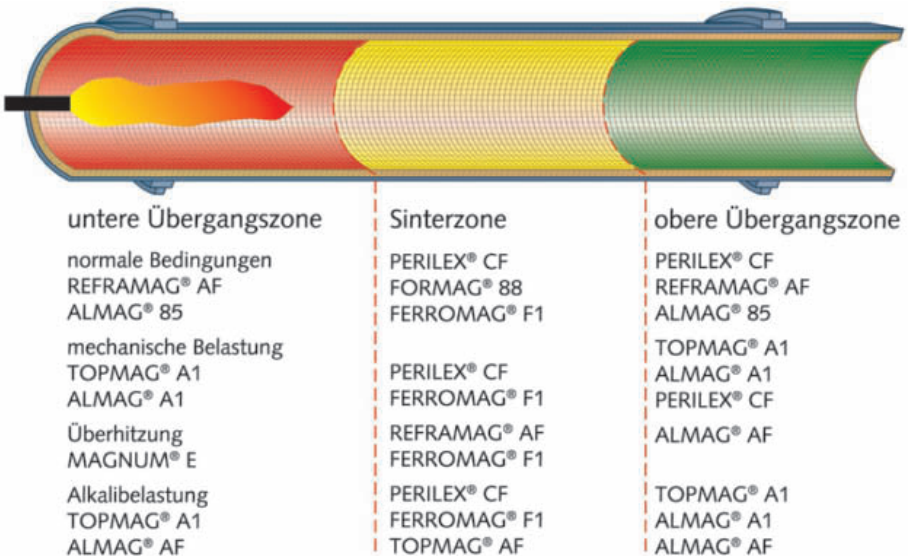


10 Ansatzhaftung auf PERILEX® CF

Rohstoffbasis: Magnesia-Spinell (fMA-Spinell)		
physikalische Eigenschaften		
Rohdichte		2,95–3,15 g/cm ³
Offene Porosität		13–15 %
Kaltdruckfestigkeit		70 N/mm ²
Druckfeuerbeständigkeit	ta	1600 °C
	te	1700 °C
Seigerkegel		42
Wärmedehnung	bei 400°C	0,4 lin.-%
	bei 800°C	1,0
	bei 1200°C	1,6
Temperaturwechselbeständigkeit	(950 °C/Luft)	100
Wärmedurchgang	bei 1000°C	2,8 W/m·K
Chemische Analyse (Gew. %)		
MgO		78–82
Al ₂ O ₃		5–7
Fe ₂ O ₃		8–10
CaO	ca.	2,3
SiO ₂	ca.	1,1



11 PERILEX® CF – Datenblatt



12 Zustellungskonzepte der Refratechnik Cement GmbH für verschiedene Anforderungen

Brenngut und Steinkomponenten fördert die Bildung von Zementklinkeransatz auf der Feuerfestzustellung [6].

5 Zustellungsempfehlungen

Mit der Entwicklung von PERILEX® CF ist es gelungen, einen chromerzfreien Magnesiastein auf Basis europäischer Rohstoffe herzustellen, der den Eigenschaften hochwertiger Magnesiachromit- und auch Magnesiaspinnellsteinen nicht nur entspricht, sondern in thermomechanischer Sicht sogar überlegen ist (**Bilder 7, 11**).

PERILEX® CF zeigt eine hohe Beständigkeit gegenüber Alkalisplating, einen hohen Infiltrationswiderstand, eine niedrige Porosität, reduzierte Gasdurchlässigkeit, eine ausgezeichnete Gefügeelastizität und eine ausgeprägte Thermoplastizität, aus der eine niedrige mechanische Spannungsempfindlichkeit resultiert. PERILEX® CF eignet sich aufgrund dieser Eigenschaftskombination vornehmlich für die Zustellung der zentralen Brennzone und thermisch normal sowie thermomechanisch hoch belasteter oberer Übergangszonen (**Bild 12**).

6 Zusammenfassung

Magnesiachromitsteine des PERILEX® 80-Typs haben neue Maßstäbe hinsichtlich des Einsatzverhaltens – speziell unter thermomechanischer Belastung – in Zementdrehöfen gesetzt. Obwohl diese Steinsorte bereits chromerzreduziert ist, ist die Bildung von Chromaten unter entsprechenden Bedingungen nicht auszuschließen. Mit PERILEX® CF steht nun ein Produkt zur Verfügung, das dieselben positiven thermomechanischen Eigenschaften wie PERILEX® 80 aufweist, jedoch ohne Einsatz von Chromerz. Zusätzliche Verbesserungen konnten durch die Erhöhung des Infiltrationswiderstandes, der Ansatzbildung und sogar des thermoplastischen Spannungsabbaus erzielt werden.

In einer Vielzahl von Einsätzen hat sich das Konzept des chromerzfreien PERILEX® bestätigt, so dass ein neues, innovatives und zukunftssicheres basisches Produkt für die Zustellung von Zementdrehöfen zur Verfügung steht.

www.refra.com

LITERATUR

- [1] Harder, J. (2008): Trends in refractory materials for the cement industry ZKG International 61, Nr. 5, pp. 36–45
- [2] Bartha, P.: PERILEX® 80 – Standardstein für die Brennzone von Zementdrehöfen. Refratechnik Bericht Nr. 34, Refratechnik GmbH 1989
- [3] Klischat, H.-J.; Weibel, G.: Entwicklungsstand chromerzfreier Magnesiasteinsorten für die Zementindustrie. REFRA-Kolloquium 1997, Kolloquiumsband 1997
- [4] DIN EN 993-9:1997: Prüfverfahren für dichte geformte feuerfeste Erzeugnisse, Teil 9: Bestimmung des Druckfließverhaltens
- [5] Deutsches Patent DE 101 17 029 B4: Material für feuerfeste Formkörper oder Massen, feuerfestes Produkt hieraus sowie Verfahren zur Herstellung eines feuerfesten Produkts
- [6] Klischat, H.-J.; Wirsing, H.: Practical application of mineralogical variations for cement kiln refractories, UNITECR 2009, Salvador, Brasilien, 13.–19. Oktober 2009, Vortrag auf Konferenz CD
- [7] Geith, M.; Majcenovic, C.; Buchebner, G.: Active Spinel – An innovative additive to basic cement rotary kiln bricks. Proc. 46th Int. Coll. on Refractories, Aachen 2003, S. 57–60
- [8] Weibel, G. (1990): Chromerzfreie Feuerfestausmauerung für die Übergangs- und Sinterzonen von Zementdrehrohröfen Zement-Kalk Gips 43, Nr. 9, pp. 436–439
- [9] DIN CEN/TS 15418:2006-9: Prüfverfahren für dichte feuerfeste Erzeugnisse – Leitlinien zur Prüfung von durch Flüssigkeiten hervorgerufene Korrosion an feuerfesten Erzeugnissen
- [10] Klischat, H.-J.: Basische Feuerfestlösungen für spezielle Anforderungen im Zementofen REFRA-Kolloquium 2008, Berlin, Kolloquiumsband 2008



GEBR. PFEIFFER

OUR COAL MILLS. NO. 1 WORLDWIDE.



Patrick Heyd, Executive Director
Sales and Project Engineering


1
more than
2000
Pfeiffer
coal mills
worldwide

Pfeiffer MPS - Coal mills supplied by the global market leader

Innovative technologies and excellent quality make Gebr. Pfeiffer the market leader for coal grinding: The troughed grinding track of the Pfeiffer MPS coal mill ensures optimum processing of almost any type of coal and pet coke - even when the feed moisture is very high. Various products can be ground in one mill without having to install a frequency converter on the main drive, making Pfeiffer MPS mills particularly flexible and cost-efficient. We also developed the largest coal mill in the world with a throughput rate of 100 tph.

Pfeiffer. Passion for grinding.

Any questions?
Feel free to contact our experts at
coal@gebr-pfeiffer.com



Aufgrund des anhaltenden Kostendrucks setzt die deutsche Zementindustrie seit dem ersten Ölschock in den 70igern bis heute erfolgreich auf den Einsatz von aufbereiteten abfallstämmigen Ersatzbrennstoffen.

TEXT Dr. Hubert Baier, WhiteLabel-TandemProjects e.U., Telgte

AFR

Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in modernen Zementwerken

1 Aktuelle Ausgangsposition

Aufgrund der anhaltenden, globalen Schwankungen bei den Energiekosten und der lokalen Diskussion über einen nachhaltigen Ressourcenschutz sieht sich die deutsche Zementindustrie gezwungen, ihren gesamten Strom- und Energiebedarf ständig nachzubessern.

Seit der Öl-Krise in den frühen 1970er Jahren wird nach brauchbaren Brennstoffalternativen gesucht. Ihren Höhepunkt fand diese Suche mit der Umsetzung der TASI. Dabei war

die Zementindustrie mit ihrem 2000 °C heißen Brennprozess und dem überstöchiometrischen Kalksteinüberschuss sogar ein willkommener Partner der privaten Entsorgungswirtschaft [1], die sich auf gewerbliche Abfälle spezialisierte, und Altöl, Altreifen oder später kunststoffhaltige Produktionsabfälle etc. aufbereiteten (Abb. 1). Sogar die Umweltministerien riefen die Zementindustrie an, als sie zur schnellen Umsetzung des Verfüterungsverbot von Tiermehl Hilfe benötigten.



Damals wie heute, bei einer thermischer Substitutionsrate (TSR) von durchschnittlich 62% (im Einzelfall nahezu 100%), wurde gern verkannt, dass es sich um einen Produktionsprozess handelt, dessen Endprodukt ein normgerechtes Bindemittel ist, das sogar im Trinkwasserbereich eingesetzt wird, und die Nutzung alternativer Brennstoffe weder die Umwelt, Mitarbeiter oder gar das Produkt in Mitleidenschaft ziehen darf.

Inzwischen stehen so viele Daten über Abfallquellen und deren gewonnener Ersatzbrennstoffe zur Verfügung [2, 3], dass das integrative Konzept von stofflicher und energetischer Verwertung, sicherer Deponierung und thermischer Beseitigung weltweit kopiert wird.

Während man sich im Ausland an die Anfänge unserer Abfallwirtschaft erinnert fühlt,

kam hierzulande das Thema CO₂, Nachhaltigkeit und Preiskrieg zusätzlich auf die Tagesordnung der Anlagenbetreiber. Um die Herstellkosten wettbewerbsfähig zu halten, musste nun an mehreren Stellschrauben gleichzeitig gedreht werden.

2012 wurden nun an 54 Standorten (Abb. 2) von 7371 direkt Beschäftigten 25,245 Mio. t Zement in 22 Unternehmen produziert. Der thermische Energiebedarf lag bei ca. 2,867 GJ/t Zement und der elektrische Bedarf ist, aufgrund des Betriebs von vielerlei umwelttechnischen Zusatzanlagen, über 10%, auf 110,8 kWh/t Zement angestiegen [4]. Diese Investitionen sind noch wirtschaftlich – allerdings ist der Trend nicht mehr aufzuhalten, sich im globalen Wettbewerb auch nach günstigeren Produktionsstandorten umzuschauen.

Einem nicht-konzerngebundenen/privaten Anlagenbetreiber bleibt keine Wahl, als seine Anlage auf den neuesten und effizientesten Technologiestand zu bringen. Hat er einen belastbaren Absatzmarkt und eine langfristige Laufzeit seiner Abtragungsgenehmigung, kann er seine Anlage z.B. mit einer Abwärmenutzung nachrüsten, mit der er Strom produzieren oder Klärschlamm trocknen kann. Hinzu kommen Zusatzinvestitionen in modernste Filter, größere Ventilatoren oder die verfahrenstechnisch passende Entstickungstechnologie, von denen inzwischen High- bzw. Low-dust SNCR oder SCR erprobt werden. Chlorbypass, Low-NO_x-Brenner, automatische Labor- und Expertensysteme



Quelle: H. Baier

1 Fein aufbereiteter fester Ersatzbrennstoff für den Einsatz im Sinterzonenbrenner



2 Werksstandorte der deutschen Zementindustrie (VDZ)

und der langfristige Zugriff auf geeignete Abfallströme sowie fachkundige Aufbereitung sind daher Grundvoraussetzung.

Neben der Änderung der Klinkermineralogie (Belitreich) mit geringerem Brennstoffbedarf und CO₂-Emissionen oder der Umstellung auf Mühlensysteme mit geringerem Strombedarf (VRM) bleibt bei wechselndem und unstetem EBS-Angebot nur die Installation von flexiblen thermischen Systemen.

Zur Erinnerung: Der thermische Klinkerprozess im Drehrohrofen wird im Vorwärmer (sog. Calcination) meist zu 60 % und zu 40 % über den Hauptbrenner mit Brennstoff gespeist, während der mehlfine Kalkstein 90 % und sämtliche Brennstoffe 10 % des gesamten Massestroms ausmachen (Abb. 3).

Vereinfacht stellt jede Verbrennung einen diffusionsgesteuerten Oxidationsprozess dar, bei dem zunächst der Brennstoff unter Energieverlust abtrocknet, pyrolysiert, das Pyrolysegas bei entsprechender Umgebungstemperatur zündet

und mit dem Restkoks exotherm verbrennt, bis der umgebende Sauerstoff oder der Kohlenstoff verbraucht ist [5].

Diese Sequenz gilt sogar für flüssige Brennstoffe, wobei auch hier Wasser endotherm verdunstet, das Pyrolysegasvolumen größer und der Koksanteil geringer ausfallen und damit die Flammenform buschiger wird als bei einem langsameren Feststoffausbrand.

Um dennoch den Hochtemperaturprozess zu gewährleisten, sollte sich der Ersatzbrennstoff an den Eigenschaften von Braunkohle orientieren.

Bis zu einer thermischen Substitutionsrate (TSR) von 50 % könnte man technisch wie auch abfallrechtlich tatsächlich von „Mitverbrennung“ sprechen, während mit weiter steigender TSR das Verhalten und die Qualität der Ersatzbrennstoffe den gesamten Verbrennungs- und damit den Herstellungsprozess dominiert. D.h., je höher die TSR, umso präziser müssen die jeweiligen Ersatzbrennstoffe bedarfsgerecht aufbereitet werden.

2 Optimierte Brennersysteme und Aufbereitungsaufwand

Die Herkunft der ursprünglichen Rohabfälle spielt heute keine Rolle mehr. Der moderne Aufbereiter und Ersatzbrennstofflieferant ist heute über Eignungsprüfungen, Stoffstrommanagement und Qualitätssicherung in der Lage, bedarfsgerechte Qualitäten herzustellen. Allerdings richtet sich die Verfügbarkeit nach dem günstigsten Entsorgungsentgelt, über das die Aufbereitungs- und Entsorgungskosten sowie mögliche Be- und Zuzahlungen gedeckt werden. D.h. die Abfallströme werden hoch volatil, da der Abfall sich den Weg mit dem günstigsten Entsorgungsentgelt sucht, was wiederum im Sinne des Abfallerzeugers (Verursacherprinzip) ist, der rechtlich wie auch finanziell für die gesamte Kausalkette zur schadlosen Verwertung und Beseitigung verantwortlich ist.

Ein geringer Teil des Entsorgungsentgeltes wird für die Aufbereitung der Brennstoffe verwendet. Dennoch müssen die Ersatzbrennstoffe verfahrensbedingt Anforderungen einhalten, so dass sich inzwischen neben dem Heizwert,



Quelle: H. Baier

3 Blick auf einen Vorwärmerturm mit Tertiärluftleitung und Drehrohren



4 Frontalansicht auf einen Sinterzonenbrenner, der für feste und flüssige Brennstoffe ausgelegt wurde (POLFLAME® der ThyssenKrupp Resource Technologie GmbH)

Chlor- und Spurenelementgehalt auch die Partikelgröße als Kriterium festgesetzt hat (Abb. 4).

So werden die Qualitäten für den sog. Haupt- oder Sinterzonenbrenner meist mit einer Korngröße um 10 bis < 30 mm angeboten. Wobei aus oben beschriebener Sequenz ersichtlich, die Korngröße nicht der bestimmende Faktor ist. Dreidimensionale Partikel z.B. aus Vollkunststoff, Holz oder Gummigranulat landen bei horizontaler Beschleunigung vorzeitig im Klinkerbett und führen zu den bekannten reduktiven Brennbedingungen mit negativen



5 Klinker ist das Zwischenprodukt in der Herstellung von Zement. Rechts oben: unter Normalbedingungen gebrannt; links oben: unter reduzierenden Bedingungen gebrannt; mittig unten: reduzierend gebrannter Klinker mit sog. „braunem Kern“

Quelle: H. Baier

Folgen (Abb. 5). Zweidimensionale Folien verweilen länger in der Schwebelage und dürfen daher größer ausfallen. Somit ist eine Windsichtung eher für die Qualitätsverbesserung der Hauptbrennerbrennstoffe geeignet als Schredder mit feineren Siebkörben und verringerter Durchsatzleistung [6].

Eine weitere Forderung an die Verbrennung abfallstämmiger Ersatzbrennstoffe wird an die Senkung der Stickoxidemissionen gestellt.

Verschiedenste Brennerhersteller bieten inzwischen sog. Low-NOx- oder auch Vielstoffbrenner für den Drehrohrofenbetrieb von 10 MW bis 300 MW an. Separate Kanäle erlauben getrennte Geschwindigkeiten der Transportluft und flexible Düsen ermöglichen unterschiedliche Anstellwinkel zur Verlängerung oder Verkürzung der Flugbahnen bis zum Ausbrand [6]. Dabei soll eine angepasste Partikelgröße und intensive Vermischung von Brennstoff und Luft für eine schnelle und vollständige Verbrennung sorgen und die Verweilzeit in der Reaktionszone des Drehrohrofens verkürzen. Dieses Verhalten ist besonders wichtig für Mischungen aus verschiedenen Brennstoffen [5]. Da das nicht immer der Fall ist, wird zur Unterstützung der Umwandlungssequenz bei einigen Drehrohrofenbetreibern zusätzlich Sauerstoff aufgegeben, was wiederum zu einer heißeren Flamme führt.

Aufgrund des hohen Stickstoffgehaltes in der Verbrennungsluft bildet sich thermisches NOx. Abfallstämmige Ersatzbrennstoffe enthalten in der Regel Restmengen von Wasser, das zur Flammekühlung und damit zur NOx-Minderung beiträgt, ebenso, wie stellenweise auftretendes CO in komplexen Reaktionen mit NOx reagiert und es denaturiert. Der verbleibende NOx-Rest wird in entsprechenden DeNOx-Systemen mittels Ammoniak direkt oder in Katalysatoren reduziert. Aufgrund der verfahrenstechnischen Betriebstemperatur von 2000 °C sind Grenzwerte von < 0,2 mg/°C NOx einzuhalten (Abb. 6).

Das Wechselspiel aus Bildung und Zersetzung von NOx und CO zeigt sich besonders im Einsatz von festen Ersatzbrennstoffen in sogenannten Kalzinatoren.



6 Leitungen zur Beschickung einer Rauchgasentstickung mit ammoniakhaltiger Lösung (hier SNCR-Anlage)

Quelle: H. Baier

3 Nutzung alternativer Brennstoffe im Kalzinator

In modernen Drehrohröfen mit Kalzinatoren werden nur 40% der Feuerungswärmeleistung über den Sinterzonenbrenner gedeckt, während 60% des thermischen Bedarfs von einem oder mehreren Punkten im Kalzinator befeuert wer-

den. Dabei wird die notwendige Verbrennungsluft über eine Tertiärluftleitung aus dem Klinkerkühler geleitet und dem Kalzinator zugeführt. Im Hinblick auf die Reaktion erfordert die Entsäuerung des Kalksteins nur Temperaturen von 850 bis 900 °C. Innerhalb des Kalzinators mischen sich die 1000–1200 °C heißen Rauchgase aus dem Ofeneinlauf mit der 800–1000 °C Heißluft aus dem Klinkerkühlen des Drehrohrofens, wobei eine sichere Zündung und Verbrennung der langsam reagierenden, grobstückigen Brennstoffe sichergestellt wird. Das Trocknen, Pyrolysieren, Zünden und Verbrennen des Brennstoffs dauert wesentlich länger als das Kalzinieren des Rohmehls, was somit der entscheidende Faktor für die Dimensionierung der Kalzinatoren ist.

In der Regel werden dort Stückgrößen um 50–80 mm bzw. Folien bis zu 100 mm eingebracht, so dass die Brennstoffpartikel innerhalb von 5–8 s ausbrennen können, ehe deren Asche im Ofeneinlauf und im Feststoff landet (Abb. 7).



Quelle: H. Baier

7 Grobstückiger Ersatzbrennstoff für den Einsatz im Kalzinator

Tab. 1 Parameter deutscher Braunkohlen [2]

Parameter	[%]
Heizwert	21 800 kJ/kg
C ¹	25,2–28,8
H	2
O	10–11,5
N	0,2
S	0,1–0,5
flüchtige Anteile	46–48
Asche	2–20
CaO	1,6–2
SiO ₂	0,3–0,4
Al ₂ O ₃	0,5–0,6
Fe ₂ O ₃	1–1,4

Spurenelementgehalte	[Ppm]
As	0,2–2,5
Be	0,04–0,4
Pb	< 0,01–2,2
Cd	0,01–1,5
Cr	0,01–15
Ni	1–9,3
Hg	0,11–0,9
Tl	0,027–0,2
V	1–13
Zn	3,9–22

Daher gibt es nun verschiedene Möglichkeiten, Kalzinatoren nach den Brennstoffeigenschaften auszulegen und erlaubt die Regelung über die Verbrennungstemperatur bzw. die Verbrennungsluft, um so auch die NO_x-Emissionen zu reduzieren.

4 Nutzung grobstückiger Brennstoffe im Kalzinator

Aus bestimmten Gründen kann eine Aufbereitung zu teuer werden oder der Ausbrand der Kalzinatorbrennstoffe nicht vollständig ablaufen, so dass es die Möglichkeit einer zusätzlichen Vor-

brennkammer gibt. Zwei Kammersysteme sind aktuell auf dem Markt, die den Einsatz schwieriger Ersatzbrennstoffe wie Teerpappe, Rotorstücke von Windkraftanlagen, grobgehackte Reifenteile oder Biomasse erlauben. Die Stückgröße kann bis 300 mm betragen (Abb. 8).

Ein System ist die sog. Hot Disc von FLSmidth, über deren langsam rotierendem Drehteller die grobstückigen Ersatzbrennstoffe in den heißen Gasstrom des Kalzinators gelangen. Die grobstückigen Materialien werden getrocknet, pyrolysieren und werden nach ca. 10 Minuten Verweilzeit durch einen Krählarms in den aufsteigenden Gasstrom abgeworfen. Der weitere Ausbrand erfolgt in der üblichen Kalzinatorschleife. Das System arbeitet am besten mit Fraktionen, die alle ein sehr ähnliches thermisches Verhalten aufweisen müssen [8].

Der sog. Step-Combustor der ThyssenKrupp Resource Technologies bringt ebenfalls grobstückige Brennstoffe mit niedrigem Heizwert (hohem Wassergehalt) in den Kalzinator ein. Dabei wird der Brennstoff nicht zwangsweise abgeräumt, sondern wird nur dann weiter in Richtung Kalzinatorschleife gefördert, wenn er vollständig verascht ist und sich pneumatisch befördern lässt. Somit ist dies System auch für inhomogene Brennstoffe mit unterschiedlichstem Verbrennungsverhalten geeignet. Die Retentionszeit kann daher untereinander extrem variieren [9].



Quelle: H. Baier

8 Abfälle aus der Industrie und dem Gewerbe dienen als Ausgangsprodukt für die Herstellung von ofenfesten festen Ersatzbrennstoffen

5 Modernisierung

Um in Deutschland wettbewerbsfähig zu bleiben, werden die Anlagen ständig modernisiert. So werden Klinkerkühler auf thermisch effizientere Rostkühler umgebaut, die teilweise auch noch mit einer Abwärmerückgewinnungsanlage kombiniert werden. Die Hauptbrenner werden auf moderne Vielstoffbrenner umgerüstet, um neben Stein- und Braunkohle, Petrolkoks auch alternative feste und flüssige Brennstoffe einsetzen zu können [10].

Bei der Abwärmerückgewinnung werden ca. 430 °C heiße Ofenabgase über eine Kesselanlage geleitet und der darin erzeugte Dampf einer Turbine zugeführt. Der Generator erzeugt ca. 1/3 des Strombedarfes. Der Wirkungsgrad im Abhitze-Kraftwerk liegt zwischen 22–25%, wobei die Dampfdruckkühlung sowohl über Luft- wie auch Wasserkühlung erfolgen kann.

Die gesamten Ofenabgase können, je nach gewachsener Rohgas- oder Reingasschaltung der Anlagen und Nutzungsgrad der Restwärme

Tab. 2 Durchschnittliche Ersatzbrennstoffqualitäten für Hauptbrenner (vorselektierter Industrie und Gewerbeabfall) [2]

Parameter	[%]
Heizwert	21 800–32 200 kJ/kg
C ¹	n.d.
H	n.d.
O	n.d.
N	n.d.
S	0,1–0,8
flüchtige Anteile	n.b.
Asche	9–39
CaO	n.b.
SiO ₂	n.b.
Al ₂ O ₃	n.b.
Fe ₂ O ₃	n.b.
Cl	0,39–2,2
F	0,1–1,7

Spurenelementgehalte	[Ppm]
As	0,68–15,32
Pb	27–4.406
Cd	0,75–162
Cr	19,10–187
Ni	5,41–1.622
Hg	0,09–1,62
Tl	0,23–1,96
V	2,17–164

Tab. 3 Durchschnittliche Ersatzbrennstoffqualitäten für Hauptbrenner (weiter aufbereitete Hochkalorische Fraktion aus Siedlungsabfall) [2]

Parameter	[%]
Heizwert	16 700–25 700 kJ/kg
C ¹	48,2–54,1
H	7,3–8,5
O	32,5–34,1
N	0,76–1,35
S	0,1–1
flüchtige Anteile	n.b.
Asche	13,6–46,7
CaO	26–32,1
SiO ₂	22,6–30,5
Al ₂ O ₃	7,82–60
Fe ₂ O ₃	4,26–6,75
Cl	0,8–4,3
F	0,02–0,09

Spurenelementgehalte	[Ppm]
As	0,48–7,33
Pb	131–30.176
Cd	2,1–55
Cr	82,73–3.029
Ni	14,19–3.658
Hg	0,28–3,39
Tl	0,18–5,90
V	5,19–135

in der Mahltrocknung, mittels selektiver nicht-katalytischer Reduktion (SNCR) oder selektiver katalytischer Reduktion (SCR) entsteht werden. Teilweise kann es bei der SCR-Anlage sogar wieder notwendig werden, das bereits thermisch ausgebeutete und daher abgekühlte Abgas erneut zu erhitzen, um auf die für den Katalysatorbetrieb notwendigen 250 °C zu kommen.

Anschließend wird Ammoniakwasser in den Rauchgaskanal eingedüst, das für die Umwandlungsreaktion der Stickoxyde im Katalysator notwendig ist. Nach Durchströmen des Katalysators wird das Rauchgas über einen Prozessventilator mit unter 0,1 mg/°C NOx und nahezu Ammoniak schlupf-frei zum Kamin geleitet.

Tab. 4 Eintragskriterien für Ersatzbrennstoffe zur Nutzung in einem Drehrohrofen nach dem Trockenverfahren mit Vorwärmer und Kalzinator ohne die Grenzwerte der 17. BImSchV zu tangieren (Die Berechnungen basieren auf der sog. Stoffflussanalyse/NRW) [1].

Element (glühverlustfrei)	Konzentration
CaO	Einzel- oder gesamt ≥ 50 Gew.-%
SiO ₂	
Al ₂ O ₃	
Fe ₂ O ₃	
Quecksilber (Hg)	≤ 2 ppm TS
Cadmium (Cd)	≤ 50 ppm TS
Thallium (Tl)	≤ 45 ppm TS
andere Spurenelemente	≤ 20000 ppm TS

LITERATUR

[1] Baier, H. (2006): Ersatzbrennstoffe für den Einsatz in Mitverbrennungsanlagen. ZKG INTERNATIONAL, 03/2006, S. 78–85

[2] Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, September 2003

[3] Zerkowski, J. et al. (1992): Kohlecharakterisierung im Hinblick auf die Verbrennung-Mahlbarkeit, Zündwilligkeit, Reaktivität, Verschlackung, VGB, TB 240, Essen (1992)

[4] <http://www.vdz-online.de/publikationen-branchendaten/zahlen-und-daten/a-wichtige-daten-auf-einen-blick/>

[5] Brandt, F. (1999): Brennstoffe und Verbrennungsrechnung, FDBR, Fachverband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau e.V., 3rd Edition – Essen: Vulkan Publishing House, 1999

[6] Baier, H. (2010): Disruptive substances and the burning behaviour of solid alternative fuels. ZKG INTERNATIONAL 06/2010, S. 58–67

[7] Reznichenko, A. (2009): Welcome to a new dimension, Burner Technology, International Cement Review, Tradeship Publications Ltd. Dorking, June 2009, 96–98

[8] Baier, H. (2009): Erzeugung von Ersatzbrennstoffen für die deutsche Zementindustrie – Rahmenbedingungen, Herkunft, Aufwand und Realisierung. Berliner Energiekonferenz Erneuerbare Energien, 10. und 11. November 2009 in Berlin, TK Publishing House Neuruppin 2009, S. 75–88

[9] Larsen, Morten Boberg (2007): Alternative Fuels in Cement Production, Technical University of Denmark, Department of Chemical Engineering, Ph.D. Thesis, DTU

[10] Menzel, K., Maas, U., Lampe, K. (2009): Technologies for Alternative Fuel Enhancement in Clinker Production Lines, 2009 IEEE Cement Industry Technical Conference Record.

[11] Rohrdorfer Zement (2013): Werksreportage – Innovation aus Tradition. ZKG INTERNATIONAL 07-08/2013, S. 24–31

One Source



We are dosing alternatives

FLSmidth Pfister® rotor weighfeeders are worldwide known for their cutting-edge performance in the process of cement making. Like, for example, rotor weighfeeder Pfister® TRW-S/D, which is particularly designed for dosing alternative fuels and biomass environment-friendly and efficiently.



See here how Pfister® rotor weighfeeders work.

sales@flsmidthpfister.com

FLSmidth Pfister GmbH | Germany

www.flsmidthpfister.com

FLSMIDTH
PFISTER

Die Gebr. Pfeiffer SE bietet mit der MVR-Walzenschüsselmühle und dem MultiDrive® Lösungen für die Zementindustrie, die den Anforderungen an immer größere Produktionsleistungen und Verfügbarkeiten in speziellem Maße gerecht werden. Mittlerweile liegen Betriebserfahrungen von über 35 000 Stunden für die MVR-Walzenschüsselmühle und den MultiDrive® vor.

TEXT Dr.-Ing. Caroline Woywadt, Head of Process Engineering Department,
Bernd Henrich, Area Manager, Gebr. Pfeiffer SE, Kaiserslautern



GEBR. PFEIFFER SE

Betriebserfahrungen mit der Pfeiffer MVR-Walzenschüsselmühle und dem MultiDrive®

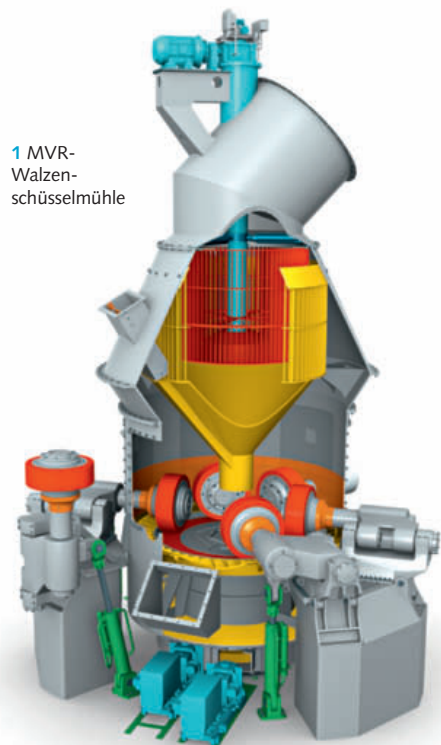
Seit vielen Jahrzehnten liefert die Firma Gebr. Pfeiffer SE Maschinen für die moderne Aufbereitungstechnik in den Bereichen Mahlen, Sichten, Trocknen und Löschen. Die Walzenschüsselmühlen für die Zementindustrie bilden dabei einen wichtigen Bereich im Produktportfolio. Die MPS-Walzenschüsselmühle ist seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts im Einsatz in der Rohmaterial- und Kohlevermahlung, die erste MPS-Mühle zur Zementvermahlung wurde 1979 installiert und produziert heute nach über 30 Jahren Betrieb Hochofenzemente mit einer Feinheit nach Blaine von über 5000 cm²/g.

Die MPS-Mühle wurde im Laufe der Zeit kontinuierlich weiterentwickelt. Als Antwort auf Marktanforderungen und Trends zu Mahlsystemen mit immer höheren Durchsatzleistungen hat die Gebr. Pfeiffer SE ein richtungweisendes Konzept für eine neue Mühle und einen neuen Antrieb entwickelt. Die neue MVR-Walzenschüsselmühle für die Vermahlung von Zementrohmaterial, Zement und Hüttensand ermöglicht durch ihren modularen Aufbau, den Betrieb auch bei Ausfall eines Walzenmoduls aufrecht zu erhalten. Der neue Antrieb MultiDrive®, der aus bis zu sechs gleich großen Antriebseinheiten besteht, bietet ebenfalls die aktiv redundante Ausführung wie die Walzenmodule. Damit werden ungeplante Stillstandzeiten selbst bei Ausfall von Hauptkomponenten deutlich reduziert.

1 Konstruktive Merkmale der MVR-Mühle

Hauptkomponenten der MVR-Walzenschüsselmühle sind die vier oder sechs Mahlwalzen mit einer zylindrischen Schleißteilgeometrie, der flache Mahleller, das gasführende Gehäuse mit Düsenring und Sichter sowie der Antrieb, der

alternativ als MultiDrive® oder als konventioneller Antrieb mit Planetengetriebe ausgeführt sein kann. Alle strömungstechnisch relevanten Maschinenteile wie Heißgaskanal, Düsenring und Hochleistungssichter SLS mit dem Materialeintrag entsprechen dem bewährten MPS-Design. Bild 1 zeigt den 3D-Schnitt einer MVR-Walzenschüsselmühle. Ihre Bezeichnung hat die Mühle nach dem Schüsselaußendurchmesser, der



1 MVR-Walzenschüsselmühle



2 Blick auf die Mahlwalze einer MVR

Art des zu vermahlenden Materials und der Anzahl der Mahlwalzen.

Ein Walzenmodul besteht aus der Walze mit zylindrischem Walzenmantel, der Walzenachse, der Schwinge, dem Lagerbock und der hydraulischen Krafteinleitung. Durch diese spezielle Aufhängung wird in Verbindung mit der ebenen Mahltellergeometrie ein paralleler Mahlpalt zwischen Walze und Mahlteller erreicht, was eine gleichmäßige Verdichtung des Mahlbettes und somit Laufruhe gewährleistet (siehe Mahlwalze auf [Bild 2](#)). Je zwei benachbarte Walzenmodule sind über Zwillingstützen mit dem Fundament verbunden. Dadurch steht zwischen den Stützen mehr Platz zur Verfügung, was sich

positiv auf die Zugänglichkeit und die Anlagenplanung in Bezug auf Heißgasführung, externen Materialumlauf und Hilfsaggregate auswirkt.

Die Walzenmodule können mit dem gleichen Hydrauliksystem, das die Mahlkraft während des Betriebs aufbringt, einzeln ausgeschwenkt werden. Bei Einsatz eines Planetenradgetriebes kann die Produktion mit reduziertem Durchsatz nur aufrechterhalten werden, wenn zwei gegenüberliegende Walzen ausgeschwenkt oder angehoben worden sind. Der MultiDrive® mit mehreren Antriebsmodulen ermöglicht die Fortführung der Produktion mit sogar nur einem ausgeschwenkten oder angehobenen Walzenmodul [1].

Mit dem Trend zu größeren Durchsätzen, also größeren Mühlen, verbindet sich die Forderung nach größeren Getrieben mit gleichzeitig sinkenden Mühlen-Drehzahlen. Die Mühlenleistung wird damit mehr durch die Größe des Drehmomentes bestimmt. Um die Probleme durch immer größere Planetenradgetriebe zu umgehen, hat die Firma Pfeiffer zusammen mit Flender/Siemens das sogenannte MultiDrive®-Konzept entwickelt. Beim MultiDrive® treiben zwei bis sechs gleiche Antriebsmodule mit installierten Antriebsleistungen von jeweils bis zu ca. 2000 kW den Mahlteller über einen Zahnkranz an, der sich unterhalb des Tellers befindet. Jedes Antriebsmodul



3 Stützen der MVR 1800 C-4 bei Hauri in Bötzingen/Deutschland



4 Mühlengehäuse der MVR 1800 C-4 mit eingeschwenkten Mahlwalzen

besteht aus einem Elektromotor, einer Kupplung und einem Kegelstirnradgetriebe, angeordnet auf einem Grundrahmen als Transporteinheit. Je Antriebsmodul kommen ein Frequenzumrichter, ein Trafo und eine Ölversorgungsstation hinzu.

Die Lastverteilung auf die einzelnen Elektromotoren erfolgt über eine übergeordnete Regelung durch den zu jedem Antriebsmodul gehörenden Frequenzumrichter. Dadurch bedingt ist die Anpassung der Mahlellerdrehzahl zur verfahrenstechnischen Optimierung grundsätzlich möglich. Die Mahlkräfte aus dem Mahlbett werden über eine konventionelle Gleitlagerung ins Fundament abgeleitet. Die Kegelstirnradgetriebe, die am Umfang des Zahnkranzes positioniert sind, werden durch die Mahlkräfte nicht belastet. Bei Ausfall eines Kegelstirnradgetriebes kann dieses aus dem Zahneingriff genommen werden und ein Betrieb der MVR-Mühle mit reduziertem Durchsatz ist möglich.

Nach dem Prinzip der aktiven Redundanz ist die mit einem MultiDrive® ausgerüstete MVR/MPS-Mühle in der Lage, den Betrieb bei Problemen sowohl an den Mahlwalzen als auch im Antriebsbereich aufrecht zu erhalten. Bei Antriebsleistungen von rd. 2000 kW bis zu 12000 kW kommen in der gesamten Mühlenbaureihe nur fünf Walzenmodule und drei verschiedene Antriebsseinheiten zum Einsatz [2].

2 Betriebserfahrungen

2.1 Testmühle im GPSE Technikum

Im Technikum der Gebr. Pfeiffer SE steht neben zwei MPS-Mühlen im Technikumsmaßstab eine MVR 400 für Testmahlungen zur Verfügung. Mit dieser Mühle wurden umfangreiche Testreihen durchgeführt, um grundsätzliche Auslegungsdaten für Zementrohmaterial, Klinker und Hüttensand zu erhalten. Durch diese praxisnahe Pilotanlage werden rohstoffabhängige und projektrelevante Daten wie spezifischer Arbeitsbedarf, notwendige Gasmenge und spezifische Verschleißraten ermittelt.

2.2 Hauri, Deutschland

Die Firma Hauri KG, ein Mineralstoffwerk in Südwestdeutschland, betreibt seit Ende der 1960er



5 Die MVR 3750 R-3 im Werk Lukavac (Bosnien-Herzegowina) nach der Inbetriebnahme



6 Die montierten Stützen der MVR im Werk Balaji (Indien)



7 Montage des Mühlengehäuses (Balaji, Indien)

Jahre MPS-Mühlen für die Mahlung von Phonolithgestein (vulkanischen Ursprungs) und zur Herstellung von z.B. zementhaltigen Bindemitteln. Die drei bereits installierten Mühlen des Typs

MPS 125 A (zwei Anlagen) und MPS 200 BC wurden im Jahr 2007 ergänzt durch eine MVR 1800 C-4. Die neue MVR wird zur Herstellung derselben Produkte wie die vorhandenen MPS-Mühlen eingesetzt und zeigt dabei die gleichen, sehr guten Betriebseigenschaften. Mahlprodukte sind beispielsweise ein Binder HT 35 mit 60% Klinker bei 5300 cm²/g nach Blaine und getemperter Phonolith mit Durchsatzleistungen von 22,5 t/h bei einem spezifischen Energiebedarf von 15,3 kWh/t bei massebezogenen Oberflächen von 6000 cm²/g nach Blaine und höher. **Bild 3** und **Bild 4** zeigen die Mühle während der Montage.

2.3 Lukavac, Bosnien-Herzegowina

In Bosnien-Herzegowina ist seit Ende 2008 eine MVR 3750 R-3 für Zementrohmaterialvermahlung in Betrieb (**Bild 5**). Mit einer installierten Leistung von 1600 kW für den Mühlenhauptantrieb beträgt der Durchsatz 160 t/h bei einem Siebrückstand von 12% auf 0,090 mm. Der



8 Montierte Walzenmodule (Balaji, Indien)

spezifische Energiebedarf der Mühle liegt bei 8,7 kWh/t, für das Gesamtsystem (Mühle, Sieher, Gebläse) bei nur 16,4 kWh/t. Nach mittlerweile über 15 000 Betriebsstunden liegt der spezifische Verschleiß bei ca. 1,3 g/t. Die MVR-Mühle wurde innerhalb von lediglich 75 Tagen montiert.

2.4 Holcim France

Seit 2009 ist eine MPS 4750 BC mit einem MultiDrive® in einer Holcim Mahlanlage in Frankreich für die Produktion von CEM I und Hüttensandmehl in Betrieb. Der Multi-Drive® ist mit drei Modulen von je 1450 kW ausgerüstet. In dieser Anlage werden 120 t/h CEM I 52,5 bzw. 130 t/h Hüttensand mit einer massebezogenen Oberfläche von 5000 cm²/g nach Blaine produziert.

2.5 Balaji, Indien

Die Jaypee Gruppe (Jaiprakash Associates Ltd) ist der drittgrößte Zementhersteller Indiens. In



9 Montage des Sieheroberteils (Balaji, Indien)

den verschiedenen Werken sind bereits sechs Rohmehlmühlen der Typen MPS 4000 B, MPS 4750 B und MPS 5000 B installiert, sechs Kohlemühlen des Typs MPS 3070 BK sowie zwei MPS-Mühlen für Zementvermahlung (MPS 4750 BC). Für das Werk Balaji hat der Kunde sich für die neue Mühlenlösung MVR mit Multi-



10 Die MVR 5600 C-4 im Werk Balaji (Indien) im Juni 2012 nach Inbetriebnahme

Tab. 1 CEM I-Qualitäten in verschiedenen Anlagen

	Balaji	Plant A	Plant B	Plant C
Type	MVR 5600 C-4	MPS 4250 BC	MPS 4750 BC	MPS 5600 BC
Blaine	2970 cm ² /g	3020 cm ² /g	3250 cm ² /g	3300 cm ² /g
Compressive strength acc. to EN 196-6 [MPa]				
After 2 days	17.1	14.5	14.1	12.2
After 7 days	27.9	26.6	21.8	24.0
After 28 days	41.7	40.5	39.4	38.4

Drive® zur Zementmahlung entschieden, für die Rohmaterialmahlung sind zwei MPS 5000 B sowie zur Kohlemahlung zwei Mühlen der Größe MPS 3070 BK installiert.

Die Walzenschüsselmühle MVR 5600 C-4 mit einem Schüsseldurchmesser von 5,6 m und Walzendurchmessern von 2,83 m wird angetrieben über einen MultiDrive® mit vier Modulen von jeweils 1650 kW. Die garantierte Durchsatzrate für Portland-Flugaschezement PPC mit 30% Flugascheanteil (entsprechend einem CEM II/B-V nach EN 197-1) liegt bei 320 t/h bei einer Feinheit von 3500 cm²/g nach Blaine. Der spezifische Energiebedarf ist vertraglich auf 18,7 kWh/t für die Mühle festgelegt. Ein zweites Produkt, welches auf der MVR hergestellt wird, ist Portlandzement OPC (CEM I nach EN 197-1) bei 3000 cm²/g nach Blaine.

Bild 6 und Bild 7 zeigen die Montage des Mühlengehäuses zwischen die vormontierten Stützen. Die eingeschwenkten Walzen sind in der Draufsicht in Bild 8 zu sehen. Das Mühlenunterteil wird danach komplettiert mit Sichterunterteil und -oberteil (Bild 9).

Im Mai 2012 wurde die MVR in Betrieb genommen (Bild 10). Mittlerweile ist die Mühle mehr als 3500 Stunden in Betrieb, wobei für PPC Durchsatzraten von 350 t/h bei einer mas-sespezifischen Oberfläche von 4300 cm²/g (Blaine) erreicht wurden. Der spezifische Energieverbrauch am Mühlenhauptantrieb unterschreitet die vertraglichen Garantien. Für die Sorte OPC wurden 380 t/h erreicht bei 2800 cm²/g (Blaine) und einem spezifischen Energiebedarf von ca. 20,2 kWh/t.

Tabelle 1 zeigt die Festigkeitsentwicklung des in der MVR erzeugten CEM I im Vergleich zu anderen Anlagen, die ebenfalls CEM I bei niedrigen Blainewerten produzieren.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der MVR-Mühle und dem MultiDrive® Konzept lassen sich Durchsatzraten bis zu 12000 t pro Tag mit einer Einmühlenlösung realisieren, wobei sich durch die aktive Redundanz für die Walzenmodule als auch der Antriebsmodule eine hervorragende Verfügbarkeit der Mühle erwarten lässt. Die aufgezeigten Betriebsanlagen mit MVR-Walzenschüsselmühlen und MultiDrive®, die mittlerweile in Summe über 35000 Betriebsstunden aufweisen, zeigen ein hervorragendes Betriebsverhalten und haben alle Auslegungsannahmen und Wartungskonzepte bestätigt.

www.gpse.de

LITERATUR

- [1] Reichardt, Y. (2010): The new Pfeiffer roller mill MVR: reliable grinding technology for high throughput rates. ZKG INTERNATIONAL, No. 11, pp. 40–45
- [2] Hoffmann, D., Reichardt, Y., Schütte, K.-H.: The MVR vertical roller mill plus MultiDrive® – a successful combination, CEMENT INTERNATIONAL 9 (2011) No. 2, pp. 44–49

we make processes work



Hält, was es verspricht. Zement ist nicht gleich Zement. Wenn aufwändige Brückenkonstruktionen höchster Beanspruchung standhalten, stecken oft auch wir dahinter. Denn Schenck Process Wäge- und Dosiersysteme sorgen für die perfekte Mischung des Baustoffs und damit für sichere Brücken. Unsere Technik kommt aber auch zum Einsatz, wenn es darum geht, die richtige Menge Gurken ins Glas zu bringen, das optimale Aluminium für den Formel-1-Motor herzustellen oder den richtigen Baustoff für eine aufwändige Brückenkonstruktion anzumischen. www.schenckprocess.de

Neben der ursprüngliche Aufgabe eines Kalzinators, das Rohmehl zu kalzinieren, trat im Laufe der Zeit die Anforderung möglichst hoher Einsatzraten von oftmals grobstückigem Sekundärbrennstoff immer öfter in den Vordergrund. Dieser Beitrag beschreibt wesentliche Aspekte zur Anlagentechnik und schließt mit einem Beispiel zur CFD-gestützten Optimierung eines Kalzinators zum Einsatz von Reifenschnitzeln.

TEXT Matthias Mersmann, aixergee Prozessoptimierung, Aachen



Moderne Pyroprozess-Linie mit Inline-Kalzinators und Tertiärluftleitung

AIXERGEE PROZESSOPTIMIERUNG

Optimierung von Kalzinatoren in der Zementindustrie

Innerhalb der Pyroprozesstechnik zur Herstellung von Zement befassten sich die meisten Entwicklungen der letzten Jahre mit dem Kalzinators. Neben dessen ursprüngliche Aufgabe, das Rohmehl zu kalzinieren, trat die Anforderung möglichst hoher Einsatzraten von oftmals grobstückigem Sekundärbrennstoff immer öfter in den Vordergrund. Dies stellt besondere Herausforderungen an die Gestaltung von Kalzinatoren, da ein sicheres Zünden und Ausbrennen des Brennstoffes oftmals Gestaltungsmerkmale erfordert, die im Widerspruch zu den Erfordernissen zur möglichst gleichmäßigen Entsäuerung stehen. Zur Lösung der

sich dadurch ergebenden Optimierungsaufgabe ist ein detailliertes Prozessverständnis notwendig, welches mit Hilfe von CFD (Computational Fluid Dynamics)-Methoden erschlossen werden kann. Darüber hinaus kann mit Hilfe der Simulationsrechnung die Optimierung des Kalzinators preiswert am Computer vorangetrieben werden, ohne mehrmalige Modifikationen der Produktionsanlage durchführen zu müssen. Dieser Beitrag beschreibt wesentliche Aspekte der Zusammenhänge der Aufgabenstellung und schließt mit einem Beispiel zur CFD-gestützten Optimierung eines Kalzinators zum Einsatz von Reifenschnitzeln.

1 Entwicklungsstand der Brenntechnik

Seit der Einführung der Kalzinatortechnik in den 1960-er Jahren hat sich kein weiterer vergleichbarer Technologiesprung in der Pyroprozess-technik zur Herstellung von Zement ergeben. Steinbiss gibt in [1] einen guten Überblick über die frühen Entwicklungen der Kalzinatortechnik sowie bereits einen Ausblick auf die Wirtschaftlichkeitsaspekte der Reststoffverbrennung. Neben einigen maschinentechnischen Innovationen im Bereich der Mahltechnik [2–8] hat es im Bereich der Brenntechnik in den letzten Jahren einige Entwicklungen bei der Kalzinatort- und Klinkerkühlertechnik [9–15] gegeben. Während die neuen Klinkerkühler im Wesentlichen neue mechanische Konzepte propagieren, haben die neuen Kalzinatorentwicklungen oftmals prozessrelevante Änderungen mit sich gebracht bzw. ermöglicht. Dies ist im Wesentlichen dem Umstand geschuldet, dass das Bestreben nach weiter erhöhtem Einsatz von sekundären Brennstoffen neue Ausbrand- und Verweilzeit-Optionen für den Brennstoff im Kalzinator erforderlich macht. Somit steht der Kalzinator derzeit oftmals im Fokus der verfahrenstechnischen Entwicklungen als anspruchsvolle Prozesseinheit des Pyroprozesses, in der zwei Vorgänge aufeinander abgestimmt werden müssen, nämlich die Brennstoffumsetzung und die Kalzination [16–20].

Seit Einführung der Kalzinatortechnik in den 1960-er Jahren hat sich eine Vielzahl von verfahrenstechnischen Konzepten und konstruktiven Ausführungen entwickelt, die zudem durch Hersteller-spezifische Namensgebungen eine verwirrende Lage der verfügbaren Technik erzeugen. Als mögliche Kategorien zur Typisierung bieten sich an:

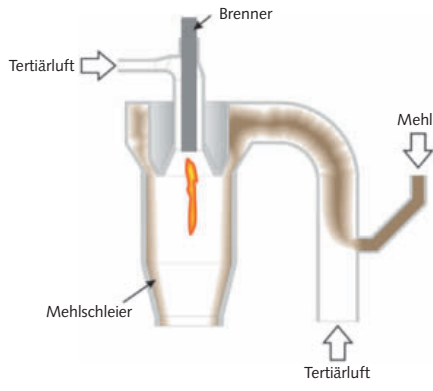
- » die Bauform als Rohr-Reaktor oder als erweitertes Gefäß
- » die Prozessführung mit oder ohne Tertiärluft
- » die Verschaltung in den Pyroprozess als sogenannter Inline-Kalzinator im Abgasstrang des Ofens (mit oder ohne vorher eingemischter Tertiärluft) oder als sogenannter Separateline-Kalzinator, dem nur Tertiärluft zugeführt wird

- » die Art der Luft- oder Gasstufung
- » die Art der Verbrennungsführung und der Eignung für stückige Brennstoffe

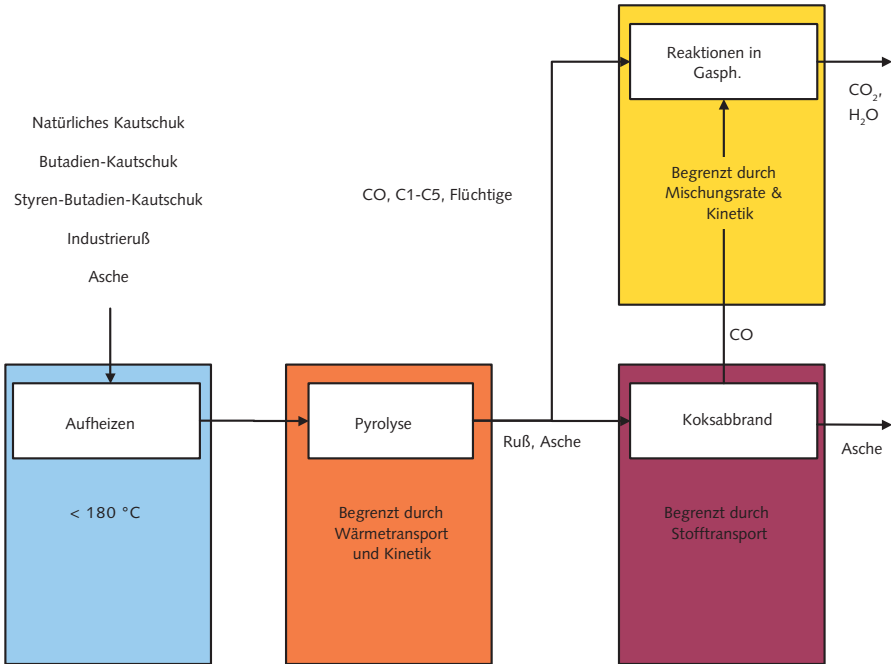
2 Der Kalzinationsprozess

Die grundsätzliche Aufgabe des Kalzinators, nämlich die Decarbonatisierung des Rohmehls ist allen verschiedenen Typen gemein, jedoch verläuft diese in den unterschiedlichen Kalzinatoren auf verschiedene Weise ab. Die Güte des Kalzinationsprozesses erweist sich in der Gleichmäßigkeit der Entsäuerung des Mehls sowie in der damit einhergehenden homogenen Temperaturverteilung im Kalzinator auf möglichst niedrigem Niveau. Die Güte des Prozesses hängt dabei in hohem Maße und verschiedenster Weise von der Strömung der beteiligten Medien ab. Wärmeübergang, Reaktionsumsätze, Stofftransport und Druckverlust sind direkt abhängig davon, wie die Medien strömen, wo und wie sie untereinander vermischt werden und wie ihr Wärmeaustausch abläuft.

Energetisch betrachtet stellt die Verbrennung im Kalzinator eine Wärmequelle dar und die Kalzination eine Wärmesenke. Eine effiziente Prozessführung weist sich prinzipiell dadurch aus, dass sich die Quelle in örtlicher Nähe zur Senke befindet, damit keine Verluste durch Wärmeabstrahlung auftreten, sondern



1 Schematische Darstellung einer Brennkammer zur Verbrennung von stückigen und schwer zündbaren Sekundärbrennstoffen



2 Schematischer Ablauf der Berechnung der Verbrennung von Reifenschnitzeln

die freigesetzte Brennstoffenergie möglichst vollständig in Entsäuerung des Mehls umgesetzt wird. Falls kein grobstückiger Brennstoff zum Einsatz kommen soll, ist dies durch geeignete Einbringung der jeweils möglichst feinpulvrig aufbereiteten Massenströme zu bewerkstelligen. Je besser es gelingt, den Brennstoff und das Mehl in örtliche Nähe zu einander zu bringen, desto geringer werden die auftretenden Temperaturspitzen ausgeprägt, desto gleichmäßiger wird die Vorentsäuerung und in der Folge auch der Ofengang sein. Durch geeignete konstruktive Gestaltungsmaßnahmen kann ein Kalzinator in diesem Sinne optimiert werden.

3 Besondere Herausforderung durch grobstückige Brennstoffe

Aufgrund der Kostenvorteile beim Einsatz von grobstückigen Sekundärbrennstoffen werden

zunehmend Brennstoffe wie zum Beispiel Reifenschnitzel, Produktionsrückstände oder bio-gene Reststoffe eingesetzt. Das grundsätzliche Dilemma für die Gestaltung von Kalzinatoren besteht in diesen Fällen darin, dass zum Zünden und Ausbrennen dieser Sekundärbrennstoffe im Allgemeinen die als Wärmesenke wirkende Kalzinationsreaktion örtlich und zeitlich in genügendem Maße von der Brennstoffoxidation ferngehalten werden muss, um den Ausbrand der oft schwer zündbaren Sekundärbrennstoffe sicher zu stellen. In diesen Fällen ist also eine Trennung von Wärmequelle und Wärmesenke zwingend notwendig. Ein gutes Beispiel für diese Problemlage liefern die in jüngster Zeit oft installierten Brennkammern zur Verbrennung von stückigen Brennstoffen. **Bild 1** zeigt eine schematische Darstellung einer solchen Brennkammer, deren prinzipielle Ge-

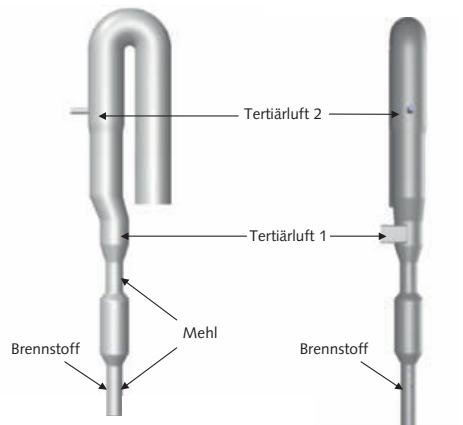
staltung von allen namhaften Anbietern auffällig ähnlich ausgeführt wird.

In diesen Brennkammern wird im oberen Bereich des zylindrischen Kernbereiches eine Zone geschaffen, in der der Brennstoff mit möglichst viel Sauerstoff bei möglichst hoher Temperatur zünden kann. Die Anwesenheit von zu entsäuertem Mehl in dieser Hochtemperaturzone ist wegen des endothermen Charakters der Entsäuerung hier zu vermeiden, damit auch ein schwer zündbarer Brennstoff in einer solchen Brennkammer eingesetzt werden kann. Die Erzeugung einer offenen Flamme in dieser Zone ist erwünscht. Zugleich muss aber die Wandung der Brennkammer vor den sich einstellenden hohen Temperaturen geschützt werden, weshalb diese mit Hilfe eines Mehlschleiers von der Flammenstrahlung abgeschirmt wird. Der Mehlschleier wird durch meist mehrere tangential eintretende Tertiärluftströme erzeugt, in die zuvor das Mehl aufgegeben worden ist. In solch einer Brennkammer wird also das Prinzip der möglichst inigen Nähe von Wärmequelle und Wärmesenke nicht realisiert. Es liegt dann auf der Hand, dass die Entsäuerung des Mehls sich heterogener gestaltet, da die einzelnen Partikel einem unterschiedlichen Strahlungs- und Wärmeeinfluss unterzogen werden. Um die Vorentsäuerung dennoch auf dem erforderlichen Niveau sicher zu stellen, werden diese Brennkammern oft mit erhöhter Temperatur betrieben, was andererseits mit Problemen mit lokalen Überhitzungen verbunden sein kann.

Somit stellt sich die Frage, wie die zwei gegenläufigen Forderungen – sicherer Ausbrand einerseits und gleichmäßige Kalzination andererseits – im Kalzinator effizient vereint werden können. Die Aufgabe besteht in diesen Fällen darin, dass die Wärme von der zunächst stattfindenden Brennstoffoxidation zum zu kalzinierenden Mehl gebracht werden muss. Dabei spielen naturgemäß Strömungs- und Mischungsvorgänge die entscheidende Rolle. Deshalb befasst sich die verfahrenstechnische Optimierung mit der abgestimmten Gestaltung der Konzentrations- und Temperaturfelder im Kalzinator. Dabei muss der Umsatz des Brennstoffes nicht notwendiger-

weise sofort als vollständige Oxidation stattfinden. Denkbar – und auch industriell realisiert – sind auch Prozesse, in denen der Brennstoff zunächst unterstöchiometrisch umgesetzt wird, um entweder zeitlich nachfolgend oder örtlich getrennt aufoxidiert zu werden.

Nachdem in den letzten Jahren viele Erfahrungen mit verschiedensten Kalzinatortypen gesammelt werden konnten, wird zunehmend klarer, dass die Prozessführung innerhalb der äußerlich oftmals ähnlich anmutenden Kalzinatoren nur selten tatsächlich gleich verläuft. Es greift die Erkenntnis um sich, dass anlagen- und anwendungsspezifische Einflüsse stärker als vermutet die Prozessführung beeinflussen. Dies hat seine Ursache darin, dass die Strömungs- und Umsatzverhältnisse auch in äußerlich scheinbar ähnlichen Kalzinatoren unerwartet stark voneinander differieren. Ändert sich beispielsweise der Impuls der eintretenden Sekundärbrennstoffe dadurch, dass diese mit einem anderen Injektionssystem in den Kalzinator eingebracht werden, oder vielleicht eine Schleusenklappe einige Meter höher eingebaut ist, so ändert sich auch die Suspendierung des Brennstoffes in dem Gasstrom und damit die gesamten Umsatzverhältnisse. In der Folge kann sich das Temperaturfeld



3 Darstellung des Kalzinators mit gestufter Brennstoff-, Luft- und Mehlfuhr vor der Zugabe von Reifenschnitzeln

Tab. 1 Volumen- und Massenströme des Kalzinierprozesses

Gase			
Medium	Flow	Temperature	Composition
Ofenabgas	40325 m³N/h	1150 °C	21 % CO ₂ 3 % O ₂ 76 % N ₂
Tertiärluft 1	16095 m³N/h	800 °C	Luft
Tertiärluft 2	16095 m³N/h	800 °C	Luft
Transportluft für Brennstoff 1	800 m³N/h	80 °C	Luft
Transportluft für Brennstoff 2	800 m³N/h	80 °C	Luft
Kühlluft für Brennstoff 1	1000 m³N/h	50 °C	Luft
Kühlluft für Brennstoff 2	1000 m³N/h	50 °C	Luft
Solids			
Medium	Mass flow	Hu/Temperature	Composition
Brennstoff 1	5000 kg/ h	6000 kcal/kg	Kohle
Brennstoff 2	2340 kg/h	3000 kcal/kg	Tiermehl
Rohmehl 1	65 kg/h	730 °C	
Rohmehl 2	65 kg/h	730 °C	

örtlich verschieben und damit die Kalzination negativ beeinflussen. Solcherlei Abweichungen vom optimalen Auslegungspunkt des Kalzinators können mit Hilfe von mathematisch-physikalischen Modellierungen, wie z.B. CFD (Computational Fluid Dynamics), nachgewiesen werden. Durch Analyse der Strömungs- und Konzentrationsfelder können geeignete Maßnahmen erkannt werden und in zielführende Modifikationen umgesetzt werden.

4 Optimierung eines Kalzinators zur Verbrennung von Reifenschnitzeln

Die Verbrennung von grobstückigen Brennstoffen im Kalzinator stellt derzeit eine der größten Herausforderung für die Ingenieure dar. Zur optimierten Verbrennung von Reifenschnitzeln in einem Rohrkalzinator ist deshalb eine CFD-gestützte Prozessgestaltung durchgeführt worden. Die Aufgabenstellung bestand darin, die bestgeeignete Aufgabestelle, sowie die maximal mögliche Aufgabemenge und die dementsprechenden optimalen Betriebsparameter errechnet werden.

Der für diese Berechnung zu treibende Modellierungs- und Simulationsaufwand ist nicht

unbeträchtlich. Für die Berechnung von Kalzinationsprozessen in thermischen Linien eines Zementwerkes sind üblicherweise die mit kommerziellen CFD-Codes gelieferten Möglichkeiten zu erweitern, um beispielsweise die Kalzinationsreaktion und den Wärmeaustausch durch Strahlung berechnen zu können. Für die Verbrennung von grobstückigen, nicht-sphärischen Brennstoffpartikeln müssen nun darüberhinaus noch weitere Modellerweiterungen implementiert werden.

Bild 2 zeigt den schematischen Ablauf des Modells zur Berechnung der Reifenschnitzelverbrennung. Wie üblich vollzieht sich auch hier die Oxidation in zwei Schritten. Mit zunehmender Partikeltemperatur erfolgt zunächst die Pyrolyse, bei der die verschiedenen Kohlenwasserstoffe aus dem Partikel ausgasen. Deren Oxidation an der Oberfläche stellt die Wärmequelle dar, die ihrerseits die Pyrolyse wiederum antreibt. Im zweiten Schritt erfolgt der Koksabbrand, bei dem die im Pyrolysekoks verbliebenen Bestandteile langsamer oxidiert werden. Das Zeitverhalten dieser beiden Schritte ist charakteristisch für die jeweiligen Brennstoffe, bzw.

Tab. 2 Haufwerkseigenschaften der Reifenschnitzel

Klasse	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Anteil [m-%]	Durchgang [m-%]
1	5	5	10	6	100
2	10	10	10	18	94
3	20	20	10	26	76
4	25	25	10	20	50
5	31	31	10	13	30
6	37	37	10	7	17
7	42	42	10	6	10
8	50	50	10	4	4

deren Bestandteile und natürlich auch abhängig von der für die Reaktion zur Verfügung stehenden spezifischen Oberfläche, also letztlich der Partikelgröße.

Das pneumatische Verhalten der Reifenschnitzel in der Strömung zeichnet sich dadurch aus, dass die einzelnen Partikel unterschiedliche Orientierungen einnehmen können, was wiederum Auswirkungen auf deren Umströmung, und somit letztlich auf den Wärmetransport in die Partikel und deren Pyrolyseverhalten hat. Auch ist aus der Literatur bekannt, dass es bei einem gewissen Abbrandfortschritt zu einer Sprengung des Partikels kommt, die ebenfalls in der Modellierung berücksichtigt werden muss.

4.1 Die Ausgangslage

Der existierende Prozess wird in einem Inline-Rohrkalzinator (Bild 3) mit gestufter Brennstoff-, Mehl- und Tertiärluftzuführung durchgeführt. Als Brennstoffe werden Kohle, Fluff und MBM sowohl im Ofenbrenner als auch im Kalzinator eingesetzt. Die Tabelle 1 stellt die wesentlichen Volumen- und Massenströme des Prozesses zusammen.

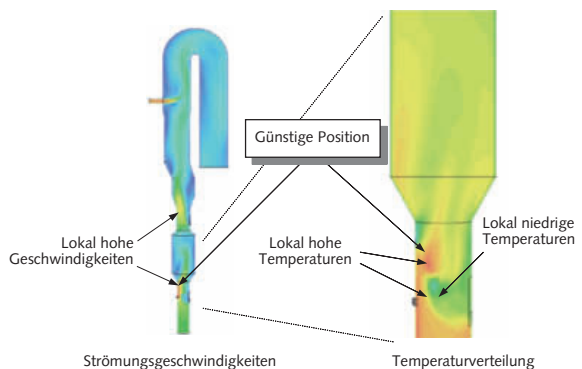
4.2 Das Optimierungsziel

Ziel der Untersuchung war die Identifikation der bestgeeigneten Eingabestelle für die Reifenschnitzel, deren maximal

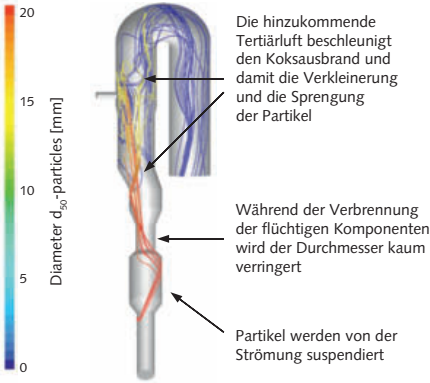
mögliche Einsatzmenge bei vorgegebener Reifenschnitzelgröße und die Berechnung der dazu einzustellenden Prozessparameter. Die Reifenschnitzel wurden in 8 Größenklassen von 5 bis 50 mm Kantenlänge (in 2 Dimensionen) und jeweils 10 mm Höhe in die Berechnung eingeführt. Der untere Heizwert wurde mit 7450 kcal/kg angesetzt. Tabelle 2 zeigt die Partikelgrößenverteilung der Reifenschnitzel.

Das Kriterium der maximal einsetzbaren Aufgabemenge wurde definiert durch drei Bedingungen:

1. Es darf kein Schnitzel in die Ofeneinlaufkammer durchfallen.
2. Die CO-Konzentration am Kalzinatoraustritt sollte kleiner als 100 ppm sein und der Sauerstoffanteil in der üblichen Größenordnung von ca. 4%.



4 Strömungsgeschwindigkeiten im Kalzinator



5 Trajektorien der Reifenschnitzel während der Verbrennung

3. Die Schnitzel der größten Fraktion sollen nach Verlassen des Kalzinators zu 75% verbrannt sein.

Da bislang noch keine einheitlichen Vorgaben bezüglich eines allgemein tolerierbaren Restausbrands existieren, ist das dritte Kriterium sicherlich diskutabel. Das hier gewählte Limit beruht auf der Annahme, dass der Koks bei so weit fortgeschrittenem Ausbrand keine klebrige Oberfläche mehr aufweist.

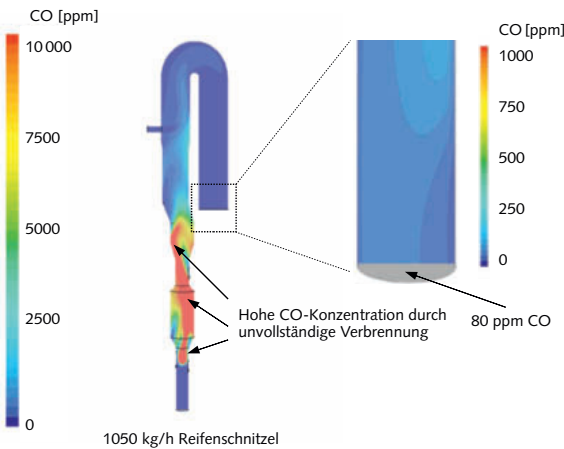
Für die Berechnung sind folgende Modellvorschriften verwendet worden:

- » stationäres Strömungsfeld
- » Turbulenzmodell: Realizable k-e Modell
- » Wärmetransport durch Konvektion und durch Strahlung
- » Stofftransport für N_2 , O_2 , CO_2 , CO , H_2O , Flüchtige der Kohle und der Reifenschnitzel
- » Finite rate/eddy-dissipation Modell für volumetrische Gasphasenreaktionen
- » Lagrangian particle tracking (getrennt für Rohmehl, Kohle und Reifenschnitzel sowie deren Koksprodukte)
- » Impuls-, Energie- und Stofftransportkopplung zwischen allen Partikeln und der Gasphase
- » proprietäre Modelle für Schleppkräfte und Wärmetransport zwischen Reifenschnitzel und Gasphase
- » Standard Verbrennungsmodell mit zusätzlicher Berücksichtigung der CO-Bildung im Gas sowie des Koksabbrandes

4.3 Ergebnisse

Für die Wahl des Eintragsortes der Reifenschnitzel ist entscheidend, dass diese entweder durch eine genügend hohe Gasgeschwindigkeit sofort angehoben werden, oder dass sie, falls sie nicht zuverlässig angehoben werden sollten, an einer weiter stromauf gelegenen Stelle vom Gasstrom suspendiert werden ohne letztendlich in die Ofeneinlaufkammer zu fallen.

Bild 4 zeigt das Geschwindigkeits- und Temperaturprofil im Kalzinator. Man erkennt die lokalen Zonen hoher Geschwindigkeit, die durch die Einbringung der Brennstoffe und deren einsetzende Verbrennung entstehen. Ebenfalls wird die Temperaturabsenkung stromabwärts der Mehleinbringung sichtbar, sowie das Komprimieren der Strömung auf der gegenüberliegenden Seite. Somit ergibt sich an der ausgewiesenen Stelle eine günstige Position zur Ein-

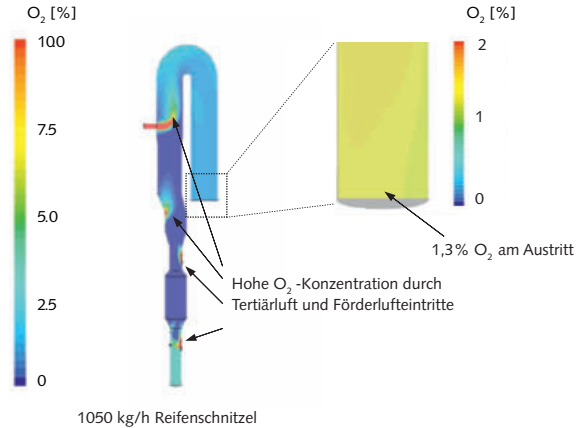


6 CO-Konzentration im Kalzinator bei Einsatz von Reifenschnitzeln

bringung der Reifenschnitzel, da diese Stelle sowohl durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 60 m/s zur Vermeidung des Durchfallens der Schnitzel gekennzeichnet ist. Ebenfalls wirken sich die hohen Temperaturen zur Unterstützung eines spontanen Zündens der Schnitzel an dieser Stelle günstig aus.

Nach der Identifikation der geeigneten Einbringungsstelle für die Reifenschnitzel ist in einem ersten Schritt 20% des Brennstoffenergiebedarfes der gesamten Ofenlinie durch Reifenschnitzel substituiert worden, was in diesem Fall einem Massenstrom von 1050 kg/h entsprach. Bild 5 zeigt die sich ergebenden Partikelbahnen, die belegen, dass die Reifenschnitzel nicht durchfallen. Einzelne Partikel durchströmen den Kalzinator nicht sofort gleichförmig, sondern verweilen aufgrund ihres momentanen Gewichts und der lokalen Strömungsverhältnisse zwar in aufgeweiteten Abschnitten des Kalzinators, werden dann aber aufgrund der mit der fortschreitenden Oxidation abnehmenden Masse schließlich zum Austrag hin ausgetragen. Ebenfalls ist ersichtlich, wie insbesondere der obere Tertiärlufteintrag das Strömungsmuster beeinträchtigt, wobei der dort stattfindende Koksbrand durch den zusätzlichen Sauerstoff unterstützt wird.

Da die Verbrennungsluftströme bei der Einführung der Reifenschnitzel in den Prozess nicht



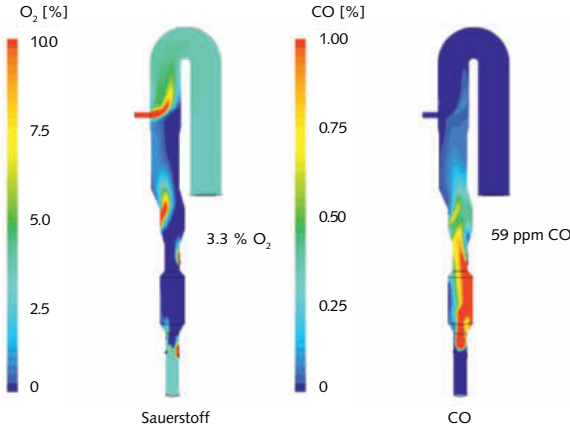
7 Sauerstoff im Kalzinator bei Einsatz von Reifenschnitzeln

verändert worden sind, ergibt sich die Frage, ob die Verbrennung vollständig erfolgen kann und eine zur Sicherstellung der Produktqualität und der Betriebssicherheit genügend geringe CO-Konzentration verbleibt. Bild 6 zeigt die CO-Verteilung innerhalb des Kalzinators bei Einsatz der Reifenschnitzel. Deutlich erkennbar sind die Bereiche hoher CO-Konzentration vor der Einmischung der oberen Tertiärluft. Am Austritt aus dem Kalzinator ergibt sich über den Querschnitt gemittelt ein Wert von 80 ppm. Bild 7 zeigt die sich so ergebende Sauerstoffverteilung im Kalzinator.

Mit einem über die Querschnittsfläche gemittelten Sauerstoff-Wert von 1,3% ist nicht davon auszugehen, dass dieser Prozess unter Berücksichtigung der betriebsüblichen Schwan-

Tab. 3 Ausbrandraten der Reifenschnitzel in Abhängigkeit ihrer ursprünglichen Partikelgrößen und des zur Verfügung gestellten Tertiärluftvolumenstroms

		Tertiärluftmenge 32 190 m³N/h		Tertiärluftmenge 32 190 m³N/h	
		Ausbrand		Ausbrand	
Klasse	Größe [mm]	Flüchtige [%]	Koks [%]	Flüchtige [%]	Koks [%]
1	5 x 5 x 10	100	100	100	100
3	20 x 20 x 10	100	84	100	99
8	50 x 50 x 10	100	41	100	73



8 Sauerstoff und CO-Konzentration im Kalzinator nach Erhöhung der Tertiärluftzufuhr

kungen dauerhaft stabil und unproblematisch betrieben werden kann. Desweiteren ist davon auszugehen, dass bei derart geringem Sauerstoff-Überschuss insbesondere die größeren Reifenschnitzel nicht in genügendem Maße ausbrennen, und damit weitere Betriebsprobleme kreieren können. **Tabelle 3** zeigt die Ausbrandraten in Abhängigkeit von der ursprünglichen Partikelgröße für die Fraktionen der kleinsten, der größten und der mittleren Partikel. Aus den Daten geht hervor, dass zwar die Verbrennung der flüchtigen Bestandteile aller Größenfraktionen bei Verlassen des Kalzinators vollendet ist, der Koksausbrand der größeren Teile allerdings nur unvollständig ist.

Zur Verbesserung der Prozessführung wurde daher vorgeschlagen, die Tertiärluftmenge zu erhöhen, bis der Koksausbrand und der Restsauerstoff günstigere Werte annehmen. **Bild 8** zeigt die Sauerstoff- und CO-Konzentrationen nach Erhöhung der Tertiärluftmenge um 40%.

Wie aus **Tabelle 3** ersichtlich wird, hat die Erhöhung der Tertiärluftmenge die gewünschten Verbesserungen hinsichtlich der Koksausbrandraten erwirkt. Die Partikel der größten Klasse weisen nun einen Koksausbrand von 73% auf.

5 Zusammenfassung

Die Optimierung von Kalzinatorprozessen steht innerhalb der Zementtechnik im Fokus der Ingenieure, weil dort wirtschaftlich interessante aber kalorisch niederwertige oder nur grobstückige Brennstoffe eingesetzt werden können. Allerdings erfordert der zunehmende Einsatz von preiswerten

Sekundärbrennstoffen eine sorgfältige Abstimmung der beiden parallel ablaufenden Prozesse der Verbrennung und der Entsäuerung. Günstige Prozessbedingungen können unter anderem mit Hilfe von mathematisch-physikalischen Modelluntersuchungen (CFD) ermittelt und gestaltet werden. Dabei sind den Besonderheiten sowohl des Zementherstellungsprozesses als auch der speziellen Brennstoffeigenschaften Rechnung zu tragen. Insbesondere bei den typischen hohen Beladungen nehmen die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Feststoffe großen Einfluss auf den Prozess. Die Fortschritte der letzten Jahre im Bereich der Strömungsberechnung lassen einen effektiven Einsatz dieser Methode zu und erlauben somit schnellere und preiswertere Prozessoptimierungen, da die kostenintensiven Umbaumaßnahmen an der Produktionsanlage durch Voraboptimierungen am Computer reduziert werden können.

LITERATUR

- [1] E. Steinbiss: Erfahrungen mit der Vorcalcinierung unter Berücksichtigung von Ersatzbrennstoffen, ZKG INTERNATIONAL 32 (1979), No. 5
- [2] H. Rosemann, H.G. Ellerbrock: Mahltechnik für die Zementherstellung – Entwicklung, Stand und Ausblick, ZKG INTERNATIONAL 51 (1998), No. 2
- [3] J.M. Brugan: Stand der Mahltechnik bei der Rohmehlerzeugung, ZKG INTERNATIONAL 45 (1992), No. 1
- [4] S. Strasser; A. Wolter: Zukunftspotentiale der Mahltechnik mit der Rollenpresse, ZKG INTERNATIONAL 44 (1991), No. 7
- [5] N. Patzelt: Entwicklungstendenzen in der Mahltechnik, ZKG INTERNATIONAL 5, Jahrgang 42, 1989
- [6] S.C. Ahluwalia, C. Hackländer-Woywadt, P.C. Abraham: Betriebserfahrungen mit der ersten Loesche-Mühle mit 3+3-Technologie zur Mahlung von Klinker und Hüttensand, Cement International 4 (2006), No. 2, pp. 90–98
- [7] Y. Reichardt: Betriebsergebnisse mit einer Walzenschüsselmühle MPS 5600 BC bei der Produktion von Hüttensandmehlen hoher Mahlfeinheit, Cement International 5 (2007), No. 2, pp. 92–95
- [8] G.B. Auxilia: Generalreport VDZ Kongreß 2009: Rohmaterialgewinnung und Mahltechnik, Cement International 7 (2009), No. 5, pp. 46–51
- [9] U. Gasser: Eight Years of Progress in Burning Technology, Proceedings of the VDZ Congress 2002, Verlag Bau + Technik GmbH Düsseldorf 2003, pp. 194–211
- [10] R. Nobis: General Report VDZ Congress 2009: Burning Technology, Cement International 7 (2009), No. 5, pp. 52–71
- [11] K. v. Wedel: Neue Klinkerverteilung für Rostkühler, ZKG INTERNATIONAL 38 (1985), No. 2
- [12] B. Bentsen, B.P. Keefe: Der neue SF Cross-Bar Kühler – ein neuer Klinkerkühler mit innovativer Luftverteilung ZKG INTERNATIONAL 52 (1999), No. 11
- [13] D. Kupper: Polysius-Servicestrategie und -Technologieentwicklungen für eine zukunftsfähige Zementproduktion, ZKG INTERNATIONAL 55 (2002), No. 6
- [14] D. Brunet, H. Mayer: Betriebskostensenkung beim Klinkerkühler durch neue Rostplatten, Compact Swing Rostlagerung, Level Radar Schubzahlregelung und Abwaermenutzung, ZKG INTERNATIONAL 53 (2000), No. 4
- [15] M. Mersmann: A New Arrival, World Cement, June 2005
- [16] T. Abbas, N. Kandamby, T. Lowes: Neuere Trends bei der Auslegung von Kalzinatoren, ZKG INTERNATIONAL 62 (2009), No. 5
- [17] X. Junlin, M. Shuxia: Optimierte Strömungsbilder in Vorkalzinatoren, ZKG INTERNATIONAL 61 (2008), No. 1
- [18] T. Abbas, F.C. Lockwood, S.S. Akhtar: Mit mathematischen Modellen zu einer besseren Anlagenleistung, ZKG INTERNATIONAL 59 (2006), No. 12
- [19] J.S. Salmento, R.E. Shenk: Genaue Vorhersage von Emissionen aus Zementwerken, ZKG INTERNATIONAL 57 (2004), No. 11
- [20] J. Lu, L. Huang, Z. Hu, S. Wang, Simulation der Zweiphasen-Gas-Feststoff-Strömung, der Kohleverbrennung und der Rohmehlkalcinierung im Vorkalzinators, ZKG INTERNATIONAL 57 (2004), No. 2

Mit einer neue Weißzement-Anlage in China können auf einem großen und sehr wettbewerbsintensiven Markt neue Maßstäbe für die Weiße und stetige Qualität gesetzt werden.

TEXT Claus Bech, TechnicalCenter, Cementir Holding, Rom/Italien



Modernes Weißzementwerk in China

CEMENTIR

Herstellung von Weißzement nach dem neuesten Stand der Technik

Da Weißzement nur etwa 1% des gesamten, weltweit produzierten Zements ausmacht, wurde bisher der Verbesserung und Leistungssteigerung der Produktion von Weißzement keine allzu große Aufmerksamkeit gewidmet. Es gibt nur wenige Erstausrüster, die das entsprechende

Wissen bezüglich der Anlagen für die Herstellung von Weißzement haben und diese anbieten. Daher kamen einige Initiativen aus der Industrie selbst. Einige der in diesem Artikel beschriebenen Technologien sind auch auf die Produktion von Grauzement anwendbar, da der Haupt-



unterschied immer noch die Farbe ist und nicht so sehr die Leistungsfähigkeit des Produkts im Allgemeinen (Festigkeit, Abbindezeit und Wasserbedarf). Weißzement wird jedoch nur für besondere und einmalige Anwendungen benötigt, wo die Weiße bzw. die Farbe die wesentlichen Faktoren sind.

1 Hintergrund

Die Cementir Holding, die im Wesentlichen durch die frühere Aalborg Portland Gruppe repräsentiert wird, besitzt sechs Anlagen ganz oder teilweise (Tabelle 1), die hochwertigen Weißzement herstellen, und ist damit einer der führenden Produzenten von Weißzement in der Welt. Auch

nach dem Erwerb von Aalborg Portland im Jahr 2004 hat sich die Cementir Gruppe weiterhin auf Weißzement konzentriert, indem spezielles und firmeneigenes Wissen geschützt und die weltweite Vermarktung von entsprechenden Produkten vorangetrieben wird.

Besonderes Kennzeichen der Anlage in Dänemark ist der Einsatz von vergleichsweise feuchtem Mergel (30% Feuchtigkeit). Das ist der Hauptgrund, warum dort weiterhin das Nassverfahren angewendet wird. Der höhere Brennstoffverbrauch wird dadurch ausgeglichen, dass der größte Teil der Wärme in den Rauchgasen zurückgewonnen und dann in einem Wärmevertersystem für die Stadt Aalborg verwendet wird. Die Gase vom Ofen werden zuerst hinsichtlich SO_2 abgereinigt, und der erzeugte Gips wird in den Zementmühlen eingesetzt. Nach dem Abgasreinigungssystem ist ein Wärmetauscher installiert, aus dem das Umlaufwasser vom Wärmevertersystem der Stadt 80 000 Haushalte mit warmem Wasser für Heizungszwecke beliefert.

Die anderen drei Anlagen der Gruppe befinden sich in Ägypten, Malaysia und China. Die Anlagen in Ägypten und Malaysia arbeiten mit der konventionellen Technologie für Weißzement, wobei ein Ofen mit vierstufigem Vorwärmer/Vorkalzinator die Wärme für die Trocknung der Rohmaterialien über einen Wärmetauscher im Fallrohr liefert. Die saubere und jetzt vorgewärmte Luft vom Wärmetauscher wird als Verbrennungsluft im Ofen und Kalzinator verwendet.

Die Anlage in China (Bild 1) ist etwas anders und kommt dem neuesten Stand der Technik näher, weil sie verfahrenstechnisch intern vom Technikzentrum der Gruppe ausgelegt wurde und von einem chinesischen Erstausrüster und Generalauftragnehmer auf EPC-Basis (Bild 2) gebaut wurde. Diese Vertragskonfiguration ermöglicht ein freieres Denken, als es oft mit einem Erstausrüster möglich ist. Die nachstehende Beschreibung des Verfahrens kombiniert die Hauptmerkmale der neu errichteten chinesischen Anlage und andere Inputs für ein zukünftiges Projekt, um die Anlagenleistung weiter zu verbessern.

Tab. 1 Weißzementanlagen von Cementir Holding

Name der Anlage	Klinkerkapazität [t/a]	Eigentümerstruktur
Aalborg Portland A/S, Dänemark	600000	Cementir España SL (75.0 %) Clobocem SL (25.0 %)
Aalborg Portland (Anqing) Co, Ltd, China	530000	Aalborg Portland A/S (100 %)
Sinai White Portland Cement Company CO. S.A.E.	790000	Aalborg Portland A/S (57.14 %) Sinai Cement Company (25.40 %) Dr. Hassan Rateb (1.27 %) Sama Sinai (2.22 %) IFU (13.97 %)
Aalborg Portland Malaysia Sdn Bhd, Ipoh Malaysia	182000 (330000)*	Aalborg Portland A/S (70.0 %) Cement Resources Consolidated Pty Ltd (30.0 %)
Lehigh White Cement Company, York PA, USA	128000	Aalborg Cement Company Inc. (24.5 %) Cemex (24.5 %) Lehigh Cement (51.0 %)
Lehigh White Cement Company, Waco TX, USA	108000	Aalborg Cement Company Inc. (24.5 %) Cemex (24.5 %) Lehigh Cement (51.0 %)

*APM wird zur Zeit modernisiert, um die Kapazität zu erhöhen

Der Unterschied zwischen grauem und weißem Zement, abgesehen von der Farbe, ist in den meisten Fällen der Anwendungsbereich. Vor allem aus Gründen der Produktionskosten und damit des Preises verbietet sich ein Einsatz beim Vergießen großer Massen, denn vom Standpunkt der Festigkeit und der Sulfatbeständigkeit würde sich Weißzement sehr gut dafür eignen und ist in einigen Fällen sogar besser als grauer Zement. Die erhöhte Lichtreflexion macht Weißzement in klimatisch wärmeren Gebieten besonders nützlich, ganz abgesehen von seinem dekorativen Wert. Der Mehrwert von weißem Beton ist darauf zurückzuführen, dass ein Neuanstrich nicht erforderlich ist, um weiß zu bleiben. Einfaches Reinigen reicht.

Die weiße Farbe des Zements ist im Wesentlichen auf das Fehlen von Eisen, Mangan, Chrom, Titan und Phosphor zurückzuführen. Diese farbgebenden Elemente sind normalerweise in den meisten Rohmaterialien für die Zementherstellung vorhanden. Daher verfügen tatsächlich nur wenige Zementanlagen über einen geeigneten Kalkstein, und nahezu kein Werk verfügt gleichzeitig über den Sand und Kaolin, die auch benötigt werden als Siliziumdioxid- und Tonerdequellen. Daher müssen diese von anderen

Orten beschafft werden. Schließlich benötigt der Prozess für das Brennen von Weißklinker wegen des Mangels an Schmelze in der flüssigen Phase eine höhere Temperatur, was teilweise den spezifischen Brennstoffverbrauch erhöht. Um das zu kompensieren, setzen die Anlagen das mineralisierte Verfahren ein, wobei eine fluorhaltige Verbindung verwendet wird.

2 Das ideale Verfahren zur Produktion von Weißzement

Die nachstehende Beschreibung soll als Richtlinie dienen, wenn eine neue Anlage für Weißzement errichtet werden soll.

2.1 Rohmaterialaufbereitung

Wie immer bei der Zementherstellung ist Kalkstein (Bild 3) der größte Bestandteil. Für die Herstellung von Weißzement ist jedoch dessen Qualität besonders wichtig. Auch wenn der Stein selbst eine gute Qualität hat (Mangel an den o.a. farbgebenden Oxiden), kann ein Waschen des Steins durch den Abraum und Toneinschlüsse erforderlich werden. Das ist ein wasserintensiver Prozess, der beachtliche Mengen an Abfall (Schlick) produziert, die gesondert behandelt werden müssen. Das Wasser wird zu seinem

Erhalt zurückgeführt, aber Abrieb und Schlick müssen ständig entfernt werden. Das geschieht normalerweise in Klärteichen. Nach der Entwässerung können Erde und Abrieb für landwirtschaftliche Zwecke genutzt werden. Der gewaschene und gebrochene Kalkstein wird dann in einer Mischbett-Lagerhalle gelagert und von dort zur Wälzmühle transportiert.

2.2 Rohmaterialvermahlung

In Abhängigkeit vom Standort und den verfügbaren Rohmaterialien werden entweder Kaolin oder Pyrophyllit zusammen mit Sand eingesetzt. Pyrophyllit muss gebrochen werden, da es sich dabei normalerweise um einen harten Stein handelt. Eine Nassrohmühle ist erforderlich, weil die Silikatfraktion ausreichend fein gemahlen werden muss, um den säureunlöslichen Rückstand (< 3% Rückstand auf 45 µm) zu kontrollieren. Wenn Sand als Rohmaterial gewählt wird, kann er direkt der Rohmühle aufgegeben werden. Wenn jedoch Pyrophyllit verwendet wird, wie oben aufgeführt, wird empfohlen, dieses Material in einem Backenbrecher vorzubereiten und danach einer Hochdruckrollenpresse aufzugeben, damit das Mahlgut für eine Nassmühle genügend fein ist (< 2 mm). Die Nassmühle sollte ein L/D-Verhältnis von 5–6 haben, mit Gummi ausgekleidet sein und Flintsteine als Mahlkörper verwenden.

Es kann schon verlockend sein, eine Vertikalmühle oder sogar eine Kugelmühle zwecks einer besseren Wirtschaftlichkeit des Mahlens

und eines geringeren Wärmebedarfs für Sand und/oder Pyrophyllit einzusetzen. Jedoch wegen des potenziellen gesundheitlichen Risikos von silikathaltigen Feinstäuben wird das nicht empfohlen und sollte vermieden werden.

Wenn für das Mahlen und Trocknen von Kalkstein eine Vertikalmühle eingesetzt wird, erreicht man eine bessere Wirtschaftlichkeit des Mahlens. Es hat sich auch gezeigt, dass diese Konfiguration nur eine geringe oder gar keine Auswirkung auf die Weiße hat, weil die Verschleißrate der eisenhaltigen Mahlwerkzeuge gering ist.

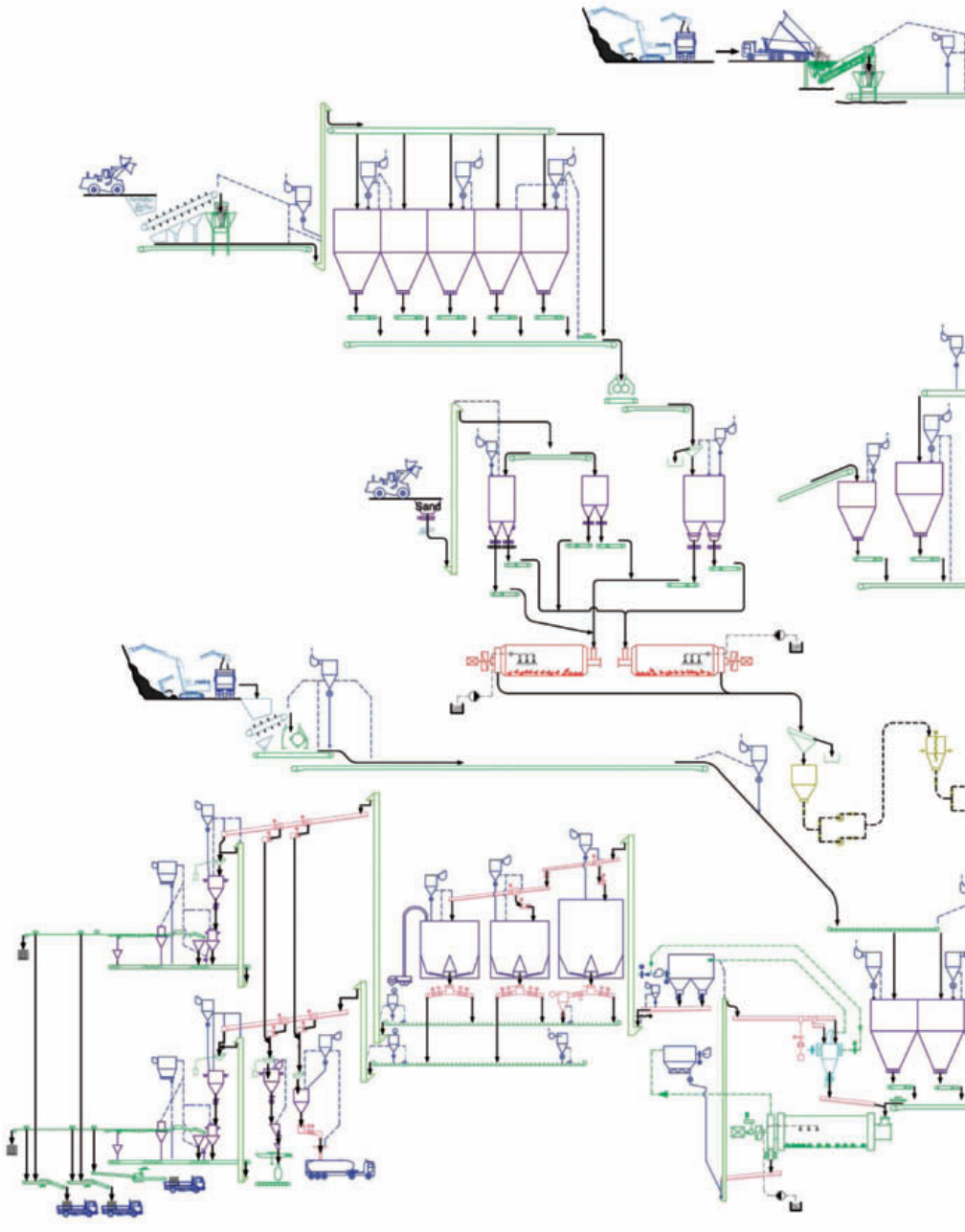
Der in der Rohmühle produzierte Schlamm wird dann direkt in die Vertikalmühle gepumpt, wo das Wasser verdampft und das Material mit Kalkstein und Kaolin/Sand/Pyrophyllit gemischt wird. In einigen Fällen, wenn eine ausreichende Nassmahlkapazität vorhanden ist, kann ein Teil des Kaolins oder der gesamte Kaolin mit dem Sand/Pyrophyllit zwecks einer besseren Kontrolle des säureunlöslichen Rückstands gemahlen werden. Der säureunlösliche Rückstand auf 45 µm ist von großer Bedeutung für die Brennbarkeit und Produktqualität bei der Produktion von sowohl weißem als auch grauem Klinker.

2.3 Rohmehlmischanlage

Das Rohmehl wird in einem Mischsilo gelagert. Da jedoch die Mischung aus reinen, autonomen Materialien besteht, ist eine Mehrkammer-Siloanlage mit Massenfluss einem konventionellen Mischsilo vorzuziehen, weil die Materialien dazu



1 5-stufiger Vorwärmer/Vorkalzinerierofen

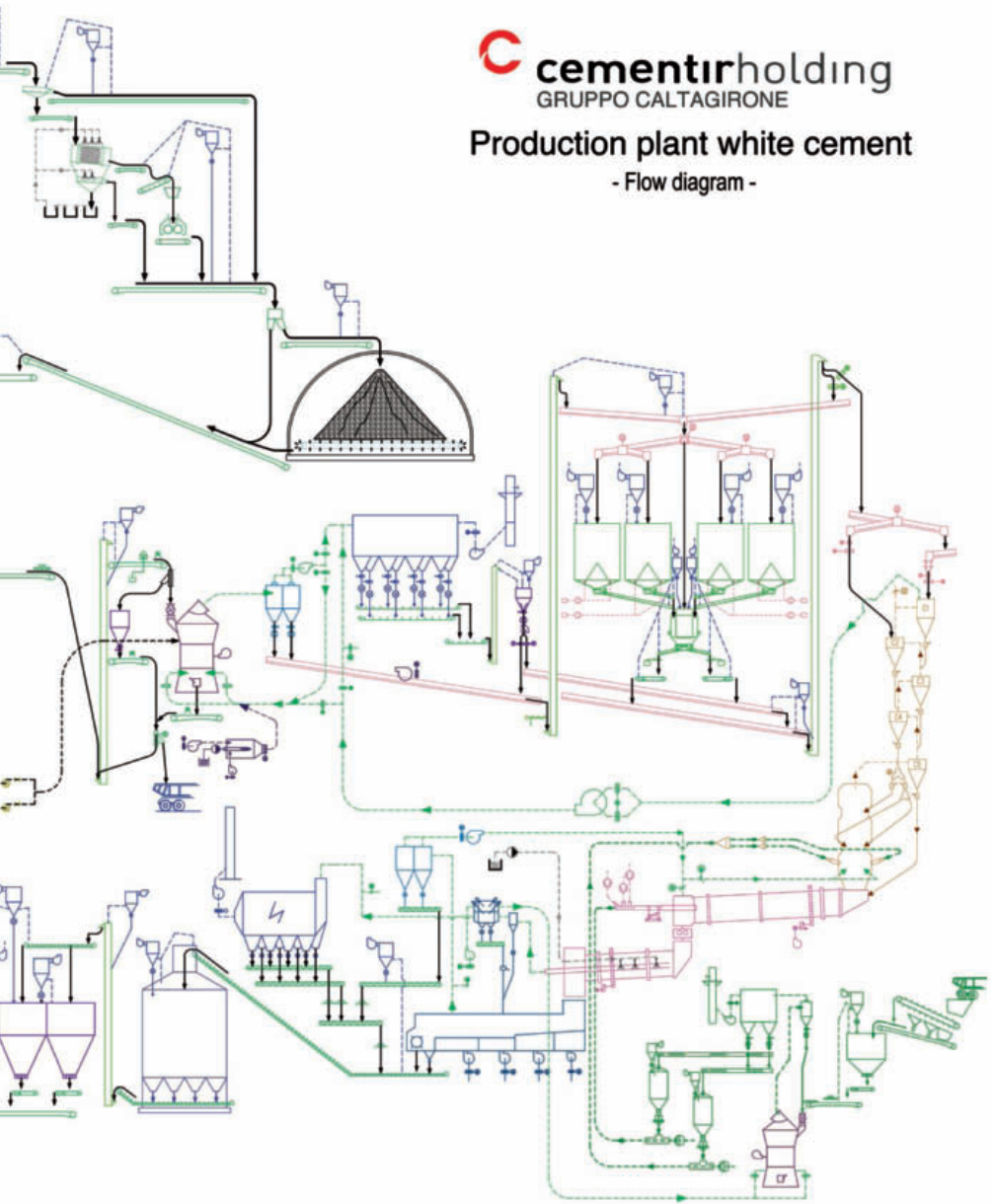


2 Flußdiagramm des Werkes



Production plant white cement

- Flow diagram -



neigen, sich zu entmischen, wenn sie für das Mischen und den Abzug aufgelockert werden.

2.4 Pyro-Linie

Die Pyro-Linie ist wahrscheinlich der Bereich, wo durch die Einführung der zweistufigen Kühlung und eines Ofens mit fünfstufigem Vorwärmer/Vorkalzinator die größten Verbesserungen zu verzeichnen sind. So konnten langfristig geringe Verbrauchswerte wie 1050 kcal/kg Klinker erreicht werden. Das Potenzial ist da, nur 1000 kcal/kg Klinker zu erreichen. Dafür müssen allerdings die einzelnen Ausrüstungsteile im brenntechnischen Verfahren noch weiter optimiert werden.

Die Heißluft, die als Verbrennungsluft im Kalzinator und im Ofen genutzt wird, kommt von einem Rostkühler, der einer Kühltrommel nachgeschaltet ist. Die Abschreckung mit Wasser in der Kühltrommel garantiert die Farbe und die Qualität. Die Luftkühlung im nachgeschalteten Rostkühler, wo der Klinker von ca. 600 °C auf 100 °C gekühlt wird, dient vor allem dazu, Verbrennungsluft zu liefern und zweitens um zu sichern, dass ein Klinker entsteht, der mit konventionellen Klinkertransportausrüstungen gefördert werden kann, wie z. B. Zellenförderer und Bandförderer. Diese Konfiguration begrenzt auch die erforderliche Menge an Sprühwasser sowohl für die Kühltrommel als auch später für die Zementmühle.

Der konventionelle Standort der Klinkerbrechanlage am Ende des Rostkühlers ist nicht

wirklich optimal. Tests haben gezeigt, dass Klinkerstücke, die größer als 25 mm sind, nicht schnell genug abgeschreckt werden, so dass kleine Mengen von FeO zu Fe₂O₃ oxidieren können, was eine negative Auswirkung auf die Weiße hat. Um das zu verhindern, sollte ein wassergekühlter Walzenbrecher zwischen Ofen und Kühltrommel installiert werden. Ein Brecher an dieser Stelle wirkt auch als physikalische Sperre, die die Menge an Dampf begrenzt, die in den Ofen eintritt. Für unsere chinesische Anlage ist ein entsprechender Platz vorgesehen, aber es sind keine Brecher für Ofenkapazitäten im Bereich von 1500–2000 t/d auf dem Markt verfügbar. Die dortigen Öfen arbeiten in diesem Bereich.

2.5 Brennstoff (Aufbereitung)

Die Wärme in den Gasen vom Dampfabzug wird zum Vorwärmen der Trocknungsluft in der vertikalen Kohle- bzw. Koxmühle mit Hilfe eines Wärmetauschers verwendet. Um eine gute Qualität zu sichern, ist es auch wichtig, dass wenig bis kein Eisen vorhanden ist, das Asche vom Brennstoff enthält. Daher sind Erdgas und Öl die bevorzugten Brennstoffquellen für Weißzement. Petrolkoks ist jedoch zweifellos der kostengünstigste Brennstoff. Beim Einsatz des mineralisierten Klinkerverfahrens und einer ordnungsgemäßen Steuerung von Alkalien/Schwefel kann sogar Petrolkoks mit einem hohen Schwefelgehalt ohne negative Auswirkungen auf die Qualität und den Betrieb eingesetzt werden.

Die Zukunft gehört sicherlich der Einführung von alternativen Brennstoffquellen. Wegen des negativen Einflusses einiger Aschen konzentriert man sich zurzeit auf Reisschalen, Lösungsmittel, Plastik und Altöl. Der Einsatz dieser alternativen Brennstoffe wird den Brennstoffverbrauch nicht reduzieren, sondern das Gegenteil ist der Fall. Mit Sicherheit wird dadurch jedoch die CO₂-Bilanz verbessert.

2.6 Zementmahlung

Schließlich ist im Bereich der Zementmahlung die konventionelle Kugelmühle am gebräuchlichsten. In dem Bemühen, Energie einzusparen, könnte jedoch der Einsatz einer Vertikalmühle in Betracht



3 Rohmaterial-Förderanlage

gezogen werden. Es ist jedoch fraglich, ob ein stabiler Betrieb erreicht werden kann, denn man weiß, dass der Klinker von Öfen mit Kalzinator, speziell im mineralisierten Verfahren, in der Regel sehr fein ist (< 2 mm).

Eine Rollenpresse ist wahrscheinlich die bessere Lösung, und wir haben gute Erfahrungen mit dieser Technologie in einer unserer Anlagen gemacht. Wir können dort eine Mahlleistung mit dem

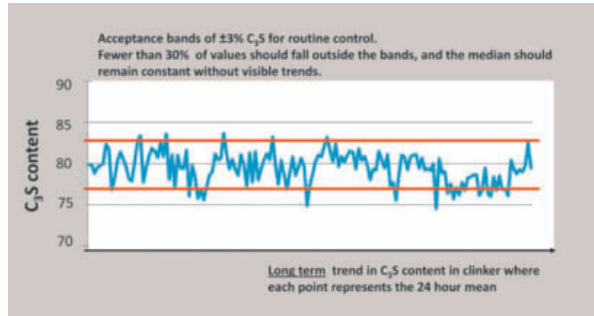
geringen Wert von 23,0 kWh/t bei 4000 cm²/g nach Blaine erreichen. Der Grund für die ausgezeichnete Leistungsaufnahme in der Rollenpresse liegt in der Tatsache, dass Nassöfen schön runde Granalien und sehr wenig Staub produzieren. Wenn die Rollenpresse mit staubigem Klinker beschickt wird, sinkt die Leistungsaufnahme beachtlich. Diese Erkenntnisse lassen es fragwürdig erscheinen, ob es eine echte Alternative zur guten alten Kugelmühle gibt, was sich mit der Zeit allerdings zeigen wird. Die neueste Entwicklung mit Vertikalmühlen für das Mahlen von Flugasche gibt uns die Hoffnung, dass eines Tages eine Technologie verfügbar sein wird.

3 Schlussfolgerung

Auch wenn Weißzement ein Nischenprodukt ist, ist es wichtig, die Betriebskosten bei gleichbleibender Qualität nicht aus den Augen zu verlieren (Bild 4 und 5). Um eine gute, gleichbleibende Qualität zu sichern, ist es wichtig, gute Rohmaterialien zu verwenden. Wenn Verunreinigungen auftreten, sind diese zu entfernen. Außerdem muss ein strenges Programm zur Qualitätskontrolle vorhanden sein.

Die neue Anlage in China ist ein großer Erfolg. Sie hat es dem Unternehmen erlaubt, auf einem großen und sehr wettbewerbsintensiven Markt neue Maßstäbe für die Weiße und stetige Qualität zu setzen.

Die Auswahl und Konfiguration der Ausrüstungen zusammen mit dem mineralisierten Verfahren machen es möglich, einen Brennstoffverbrauch



4 Grenzwerte der Zusammensetzung

von nur 1000 kcal/kg Klinker zu erreichen. Indem man versucht, so viel überschüssige Wärme wie möglich rückzugewinnen, kann der Energieverbrauch weiter reduziert werden, und in der Zukunft könnte eine Kondensationsanlage zur Rückgewinnung von Abwärme für die Energieerzeugung zur Realität werden. Eine Kondensationsanlage könnte besonders dort interessant sein, wo Wasser nur in geringem Maße zur Verfügung steht.

Abgesehen von den richtigen Rohmaterialien, liegt schließlich der Schlüssel zu einem erfolgreichen Hersteller von Weißzement nicht allein in der Auswahl der richtigen Ausrüstungen, sondern auch im Wissen und Know-how. Der Fokus auf Forschung und Entwicklung, eine engagierte Strategie und der richtige Umgang mit dem Humankapital sind in diesem Zusammenhang von immenser Bedeutung.



5 Ausbreitmaß-Test zur Qualitätskontrolle

Nachhaltiges und umweltgerechtes Wirtschaften in der Zementproduktion bedeutet, bei gleichbleibender Qualität und Quantität, den natürlichen Rohstoffverbrauch durch sekundäre Rohstoffressourcen, wie beispielsweise industrielle und kommunale Reststoffe, zu ersetzen, sowie Emissionen zu senken und Energie einzusparen, bzw. diese zurückzugewinnen.

TEXT Dr. Heiko Schürmann, KHD Humboldt Wedag, Köln



KHD HUMBOLDT WEDAG

Anforderungen an die umweltgerechte und nachhaltige Herstellung von Zementklinker

1 Einleitung

Nach Wasser ist Beton und damit Zement eines der meistgehandelten Güter weltweit und es ist bislang nicht abzusehen, dass der Verbrauch von Zement in Zukunft abnehmen wird. Getrieben wird der weltweite Verbrauch von Zement durch den zunehmenden Neubau, Ausbau und der Modernisierung von Gebäuden und der Infrastruk-

tur. Diese Nachfrage wird verursacht durch die stetig wachsende Weltbevölkerung, den Anstieg des Lebensstandards und der zunehmenden Urbanisierung.

Bedingt durch den hohen Einsatz von natürlichen Ressourcen und der Freisetzung von Emissionen verschiedenster Art werden jetzt und in Zukunft hohe Anforderungen an die Industrie



schrieben. Dazu wird im Folgenden mit der Theorie zur Bildung des Zementklinkers begonnen und abschließend das klassische Feld der Zementverfahrenstechnik um die immer wichtiger werdende Umweltverfahrenstechnik erweitert.

2 Vom Rohmehl zum Zementklinker – Chemisch/Physikalische Vorgänge

Die Hauptelemente, die zur Herstellung von Zementklinker benötigt werden, sind im wesentlichen Calcium (Ca), Silizium (Si), Aluminium (Al) und Eisen (Fe). In natürlicher Form werden diese Elemente in Form von Kalkstein und Ton im Steinbruch abgebaut und im Zementwerk eingesetzt. Um die gewünschte Rohmehlzusammensetzung einzustellen, können darüber hinaus noch Silizium, Aluminium und Eisen über die Korrekturstoffe Sand, Bauxit oder Eisenerz der Rohmischung vor Rohmühle beigemischt werden.

Das staubfein gemahlene Gemisch wird anschließend thermisch behandelt, wobei das Ziel der thermischen Prozessführung die Bildung der in **Tabelle 1** genannten Hauptminerale (Klinkerphasen) ist, die dem späteren Produkt Zement seine hydraulischen Eigenschaften, die Fähigkeit zur Abbindung und Verfestigung, gibt.

Der thermische Prozess der Klinkerherstellung ist weitestgehend ein klassischer Gegenstromprozess. Der Materialstrom durchläuft den thermischen Prozess in entgegengesetzter Richtung zum Gasstrom. Dabei wird die Energie des heißen Gases in verschiedenen Prozessschritten auf das Rohmaterial bis hin zum Sinterprozess übertragen. In Abhängigkeit von der Temperatur

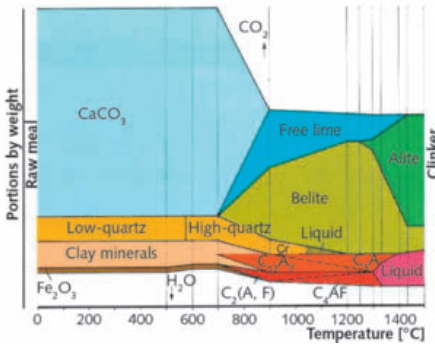
(Lieferanten und Hersteller) gestellt werden, um Zement in noch umweltverträglicherer und nachhaltigerer Art und Weise herstellen zu können.

Die modernen Anforderungen an die Herstellung des Zementklinkers werden am Beispiel von Produkten der KHD Humboldt Wedag be-

Tab. 1 Hauptminerale im Zementklinker [1]

Klinkerphase	Chemische Formel	Kurzbezeichnung	Durchschnittl. Anteil	Eigenschaften im Beton
Tricalciumsilikat „Alit“	3CaO*SiO ₂	C ₃ S	65 %	Festigkeitsentwicklung im frühen Stadium der Erhärtung
Dicalciumsilicat „Belit“	2CaO*SiO ₂	C ₂ S	13 %	Festigkeitsentwicklung im späteren Stadium der Erhärtung
Tricalciumaluminat „Aluminat“	3CaO*Al ₂ O ₃	C ₃ A	11 %	Beeinflusst die Zeit der Entwicklung der Anfangshärte
Calciumaluminatferrit „Aluminatferrit“	2CaO*(Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)	C ₄ AF	8 %	Einfluss auf die Sulphatbeständigkeit

PROCESS



1 Bildung der Klinkerphasen

laufen folgende Umwandlungsschritte vom Rohmehl bis zum Zementklinker ab:

- » Bis 100 °C: Verdampfung der oberflächlichen Restfeuchte. Anlagenteil: Zyklonvorwärmer, oberste Stufe.
- » Bis 300 °C: Verdampfung der adsorptiv gebundenen Feuchtigkeit und des in der Kristallschicht eingelagerten Wassers der Tonminerale. Anlagenteil: Zyklonvorwärmer
- » Bis 700 °C: Hydroxylionen (OH-) werden aus den Tonmineralen ausgetrieben. Dadurch wird das Tonmineralgitter zerstört und der Rest des Tonminerals in seiner Reaktionsfähigkeit intensiviert. Anlagenteil: Zyklonvorwärmer
- » Bis 900 °C: Der Hauptbestandteil des Rohmehls, Calciumcarbonat (CaCO₃) wird dissoziiert. CO₂ geht in die Gasphase über und CaO bleibt als Reaktionspartner zur Bildung der Klinkerphasen übrig. Dieser Reaktionsschritt ist mit seiner hohen Reaktionsenthalpie der

energieintensivste Schritt im thermischen Prozess. Anlagenteil: Kalzinator

- » Bis 1280 °C: Das nun entsäuerte Calcium kann mit Silizium, Aluminium und Eisen die Klinkerphasen Belit, Aluminat und Aluminatferrit bilden. Anlagenteil: Drehrohrofen, Eintritt bis Übergangzone
- » Ab 1280 °C: Der Prozess der Sinterung startet. Es bildet sich im Ofenmehlgemisch eine Teilschmelze aus. Für normalen Portlandzementklinker wird die Rohmehlmischung so eingestellt dass ca. 25% des Gemischs als Schmelzphase vorliegen. Aus dem vorher entstandenen Belit und dem noch frei verfügbaren CaO bildet sich die Klinkerphase Alit. Der Stofftransport zur Alitmineralbildung wird durch die flüssige Phase der Teilschmelze gefördert. Zusätzlich werden aufgrund der hohen Temperaturen größere Kalkstein- und Quarzkörner aufgeschlossen. Anlagenteil: Drehrohrofen, Übergangzone bis Sinterzone
- » Bis 1500 °C: Diese Materialtemperaturen werden im Drehrohrofen in der Sinterzone, in Flammennähe erreicht. Im Materialgemisch aus fester und flüssiger Phase stellt sich ein thermodynamisches Gleichgewicht der Klinkerhauptphasen ein. Anlagenteil: Drehrohrofen, Sinterzone
- » Vorkühlung: Eine schnelle Abkühlung unterhalb von 1200 °C ist erforderlich. Die schnelle Abkühlung verhindert die thermodynamische Gleichgewichtseinstellung zugunsten der Bildung von Aluminaten und Aluminatferriten, welche ansonsten Ca aus dem Alitmineral resorbieren würde. Dadurch wird die Rückbil-

Tab. 2 Thermische Verfahren zur Herstellung von Zementklinker

	Feuchtegehalt, Rohmehl [%]	Rohmaterialaufgabe [-]	Maximale Klinkerproduktion [tcl./d]	Typischer Brennstoffenergiebedarf [kJ/kg cl.]
Nassverfahren	32–40	pumpfähiger Schlamm	3000	6000
Halbnassverfahren	18–22	mech. entwässerter Schlamm, stichfest	4500	3800
Halbtrockenverfahren	10–14	Pellets (Granalien)	1800	3400
Trockenverfahren (Wärmetauscher/ Kalzinator)	< 2	staubförmig	12000	3100

dung von Alit in Belit verhindert. Anlagenteil: Drehrohfen, Vorkühlzone und Klinkerkühler.

- » Abkühlung: Die nun stabilisierten Klinkerphasen werden mit Umgebungsluft abgekühlt, so dass der Klinker sicher transportiert, gelagert und zu Zement vermahlen werden kann. Die bei der Klinkerkühlung aufgewärmte Luft wird im Drehrohfen und Kalzinator als Verbrennungsluft verwendet. Anlagenteil: Klinkerkühler

Die komplexen Vorgänge um die Entstehung der Klinkerminerale sind in anschaulicher Weise in **Bild 1** dargestellt.

3 Anlagenteile und deren Funktion

Der thermische Prozess zur Herstellung des Zementklinkers hat sich im Laufe der Jahre stetig weiterentwickelt. Schachtofen, lange Nass- und Trockenöfen sowie die Herstellung im Halbtrockenverfahren werden heutzutage nicht mehr als Neuanlage gebaut. Eine Sonderlösung, die oft in Gebieten eingesetzt wird in denen die Kalkkomponente als Kreide vorliegt, ist noch das Halb Nassverfahren.

In **Tabelle 2** sind die unterschiedlichen thermischen Verfahren mit ihren wesentlichen Parametern dargestellt. Der Stand der Technik, welcher in fast allen Neubauprojekten umgesetzt wird, ist das Trockenverfahren bestehend aus Drehrohfen mit Kalzinator, Zyklonwärmetauscher und Rostkühler, das im Folgenden näher beschrieben wird.

3.1 Zyklonwärmetauscher

Der Zyklonwärmetauscher wurde 1952 erstmalig in der Zementindustrie von der KHD Humboldt Wedag gebaut. In Richtung des Materialstroms gesehen, wird das gemahlene Rohmaterial im ersten Prozessschritt auf den Zyklonwärmetauscher, siehe **Bild 2**, aufgegeben. Im Zyklonwärmetauscher wird die Energie des heißen Verbrennungsabgases in mehreren Zyklonstufen auf das

Rohmehl übertragen, so dass das Rohmehl im Austritt eine Temperatur von etwa 800–850 °C erreicht. Das Verbrennungsabgas wird dabei auf ein Temperaturbereich von etwa 260 °C bis

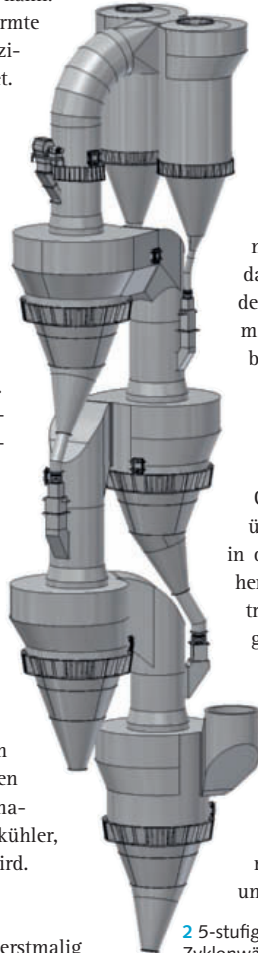
340 °C abgekühlt. Die Gasaustrittstemperatur steht im engen Zusammenhang mit der Anzahl der Zyklonstufen des Zyklonwärmetauschers und ist daher eine der bestimmenden Auslegungsgrößen für den Zyklonwärmetauscher. Die Abgastemperatur, bzw. die Stufenanzahl richtet sich nach der Rohmaterialfeuchte, da das Abgas des Wärmetauschers in der vorgeschalteten Rohmaterialmahlung die Trocknungsenergie bereitstellt.

Der Transport- und Wärmeübertragungsprozess beginnt im Steigschacht zum Zykloneintritt. Hier wird die Wärme des heißen Gases auf das kältere Rohmehl übertragen. Das Gemisch gelangt in den Zyklon und wird weitestgehend dort wieder voneinander getrennt, so dass das abgekühlte Abgas in den nächsthöheren Zyklon gelangt und das aufgewärmte Rohmehl in den Steigschacht zum darunter angeordneten Zyklon fällt.

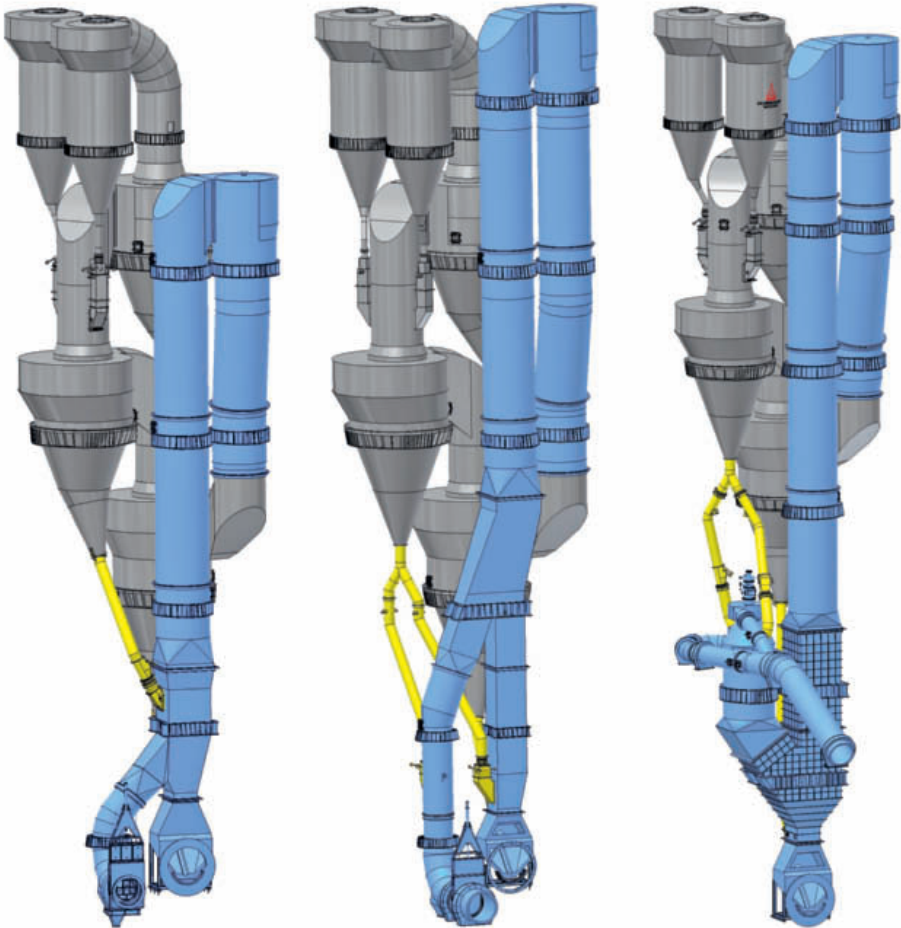
Ein weiteres wichtiges Auslegungskriterium ist der Druckverlust des Zyklonwärmetauschers und damit die Gas- und Materialgeschwindigkeiten

innerhalb dieses 2 5-stufiger KHD Zyklonwärmetauscher Systems. Die Stoff- und Ener-

giebilanz um den kompletten thermischen Anlagenteil ergibt die Abgasmenge, aus der sich dann die Dimensionierung der Zyklongrößen ableitet. Eng mit dem Druckverlust ist auch die Abscheideeffizienz der Zyklonstufen, insbesondere der obersten, verbunden. Grundsätzlich



2 5-stufiger KHD Zyklonwärmetauscher



3 KHD PYROCLON® Kalzinator Baureihe. Von links nach rechts: PYROCLON® R, PYROCLON® R Low-NOx, PYROCLON® R mit Brennkammer

gilt, dass die Effizienz der Abscheidung, höhere Gasgeschwindigkeiten in den Zyklonen, längere Tauchrohre, mit einer Zunahme im Druckverlust verbunden ist. Hier muss das optimale Gleichgewicht zwischen Druckverlust und Abscheidung gefunden werden, da nicht nur der Druckverlust ausschlaggebend für den Verbrauch elektrischer Energie am Systemventilator verantwortlich ist, sondern auch die Materialmenge die nicht im Zyklonwärmetauscher zurückgehalten werden kann und mit dem Abgas in den Ventilator gelangt.

Neben dieser zusätzlichen Arbeit am Ventilator und dem damit verbundenen höheren elektrischen Energieeinsatz wird durch den Verlust von zu hohen Staubmengen über den Zyklonwärmetauscher auch Wärmeenergie verschleppt, die sich in einen höheren Brennstoffbedarf der gesamten thermischen Anlage widerspiegelt.

Im Zyklonwärmetauscher findet die Verdampfung der restlichen Oberflächenfeuchte sowie der adsorptiv und im Kristallgitter gebundenen Wassermoleküle statt. Mit weiter

ansteigender Temperatur während der Aufwärmung im Zyklonwärmetauscher werden die organischen Bestandteile des Tons oxidiert und das Tonmineralfüge durch den Verlust von Hydroxylionen zersetzt.

3.2 Kalzinator

Der energieintensivste Schritt der Zementklinkerherstellung, die Entsäuerung des Kalksteins, findet im Kalzinator statt. Dieser ist zwischen Zyklonwärmetauscher und Drehrohrofen angeordnet und wurde im Jahre 1965 von der KHD Humboldt Wedag weltweit erstmalig gebaut. Das im Zyklonwärmetauscher vorgewärmte Rohmehl wird in den Kalzinator geleitet. Um die notwendige Energie zur weiteren Aufheizung und vor allem zur Entsäuerung aufzubringen, wird der Kalzinator mit Brennstoff beschickt. Der zur Verbrennung notwendige Sauerstoff kommt in geringer Menge aus dem Abgas des Drehrohrofens und hauptsächlich aus der vorgewärmten Luft vom Klinkerkühlprozess. Die vorgewärmte Luft wird dazu mittels der Tertiärluftleitung am Ofen vorbeigeführt und direkt in den Kalzinator geleitet.

Kalzinatoren gibt es in verschiedenen Bauformen. Anhand der KHD Humboldt Wedag Kalzinator Baureihe, genannt PYROCLON®, siehe [Bild 3](#), sollen die Funktionsweise und die Vorteile erläutert werden:

Entlastung des Drehrohrofens:

Die Entsäuerungsarbeit wird im PYROCLON® Kalzinator geleistet. Dadurch wird der Drehrohrofen thermisch und strömungstechnisch entlastet. Das ermöglicht die Nutzung von kleineren Drehrohrofens bei hoher Klinkerproduktionsleistung. Zusätzlich sorgt der hohe Entsäuerungsgrad für einen stabileren Ofenbetrieb, da das nun entsäuerte Rohmehl schnell höhere Temperaturen annimmt, partiell zu schmelzen beginnt und dadurch der Effekt des ungewollten, raschen Fließens durch den Ofen verhindert wird.

Flexible Brennstoffauswahl:

Der Prozess der Entsäuerung findet im Gegensatz zum Sinterprozess im Drehrohrofen auf einem niedrigeren Temperaturniveau von 850–880 °C

statt. Da hier eine gleichmäßige Verteilung der Wärme und keine hohen Verbrennungstemperaturen benötigt werden, sind die Anforderungen an die Qualität des Brennstoffs, wie z.B. Heizwert oder Partikelgröße nicht so hoch. Daher ist der PYROCLON® Kalzinator der ideale Ort um alternative Brennstoffe, wie z.B. sortierte Abfallreste, als Energieträger einsetzen zu können.

NO_x Emissionen:

Neben dem vorher beschriebenen niedrigen Temperaturniveau und damit den Ausschluss der Bildung von weiterem thermischen NO_x kann der Kalzinator als gestufte Feuerung betrieben werden. Hier ist als Beispiel der KHD Humboldt Wedag PYROCLON® Low-NO_x zu nennen, der in der ersten Zone den Brennstoff unterstöchiometrisch umsetzt. Der unterstöchiometrische Brennstoffumsatz sorgt für die Bildung von unvollständigen Verbrennungsprodukten wie z. B. Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid, die das Potential zur Reduktion von NO_x aus der Drehrohrofenfeuerung haben. Damit können auf primäre Weise NO_x Verbindungen durch die Prozessführung abgebaut werden. Der vollständige Umsatz des Brennstoffs findet nach der Reduktionszone des Kalzinators durch die Zugabe der Tertiärluft statt. Für höhere NO_x Reduktionsanforderungen kann



4 KHD Drehrohrofen. 3 Lagerstationen, mit Zahnkranztrieb und Sinterzonenkühlung



5 Sinterzone und Ofenflamme

der PYROCLON® Kalzinator mit einem SNCR System (Selective Non Catalytic Reduction) zur sekundären NOx Reduktion ausgestattet werden.

Die Hauptreaktionen die im PYROCLON® Kalzinator stattfinden ist die Oxidation der Brennstoffbestandteile als Wärmequelle sowie die Entsäuerung des Kalksteins als Wärmesenke.

Kalksteinentsäuerung: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
 $\Delta H_R = + 1780 \text{ kJ/kg}$ (endotherm)

Im Anschluss an den PYROCLON® Kalzinator wird das zu etwa 90 bis 95% vorentsäuerte Rohmehl in der untersten Zyklonstufe des Zyklonwärmetauschers abgeschieden und in den Drehrohfen geleitet.

3. 3 Drehrohfen

Die Bildung der Klinkermineralphasen findet im Drehrohfen bei Temperaturen um etwa 2000 °C in Flammennähe statt. Der Drehrohfen ist zum Austritt hin mit 3,5% leicht geneigt. Durch die Drehung wird das vorentsäuerte Rohmehl langsam durch den Ofen, in die Sinterzone bis zum Austritt transportiert. Neben der Materialförderung resultiert aus der Drehbewegung auch die Bildung der sogenannten Klinkergranalien, die üblicherweise im Größenbereich von 5 bis 30 mm im Durchmesser liegen. Der typische Materialfüllungsgrad bezogen auf den Rohrquerschnitt liegt bei etwa 15%. Der Ofen selbst ist auf 3 oder 2 Lagerstationen gelagert. Bei 2 Lagerstationen spricht man von einem Pyrorapid® oder auch Kurzofen. Der von KHD Humboldt Wedag auf

den Markt gebrachte Pyrorapid® hängt eng mit der Entwicklung der vorher beschriebenen Kalzinatortechnik zusammen, da in diesem Ofentyp hauptsächlich nur noch die Sinterung stattfindet und dementsprechend ein weitestgehend vorkalziniertes Material benötigt wird.

Die chemischen Vorgänge im Eintrittsbereich des Ofens liegen in der restlichen Entsäuerung des Materials. In der sogenannten Übergangszone des Ofens findet die Bildung der Zwischenprodukte nach folgenden Hauptreaktionen statt.

Calciumaluminat, CA: $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CA}$
 $\Delta H_R = - 100 \text{ kJ/kg}$ (exotherm)

Calciumferrit, C₂F: $2 \text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{F}$
 $\Delta H_R = - 114 \text{ kJ/kg}$

Belit, β-C₂S: $2 \text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \beta\text{-C}_2\text{S}$
 $\Delta H_R = - 732 \text{ kJ/kg}$

Im Bereich der Flamme, der sogenannten Sinterzone, **Bild 5**, fängt, unterstützt durch die Bildung der Teilschmelze, die Reaktion zu den weiteren gewünschten Klinkermineralphasen statt (siehe **Tabelle 1**).

Calciumaluminatferrit, C₄AF:
 $\text{CA} + \text{C}_2\text{F} + \text{CaO} \rightarrow \text{C}_4\text{AF}$
 $\Delta H_R = + 25 \text{ kJ/kg}$

Tricalciumaluminat; C₃A: $\text{CA} + 2 \text{CaO} \rightarrow \text{C}_3\text{A}$
 $\Delta H_R = + 25 \text{ kJ/kg}$

Alit, C₃S: $\beta\text{-C}_2\text{S} + \text{CaO} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$
 $\Delta H_R = + 59 \text{ kJ/kg}$

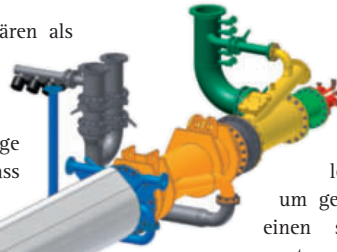
Die Addition der endo- und exothermen Teilreaktionen zur Bildung des Zementklinkers im thermischen Prozess ergibt je nach Rohmischungszusammensetzung eine theoretische Reaktionsenthalpie im Bereich von 1715 bis 1780 kJ/kg bezogen auf das Endprodukt Klinker.

Das Abgas des Drehrohrofens wird über den Ofensteigschacht in den Kalzinator geleitet. Die Klinkergranalien fallen am Austritt des Ofens in den Klinkerkühler.

3.4 Drehofenbrenner

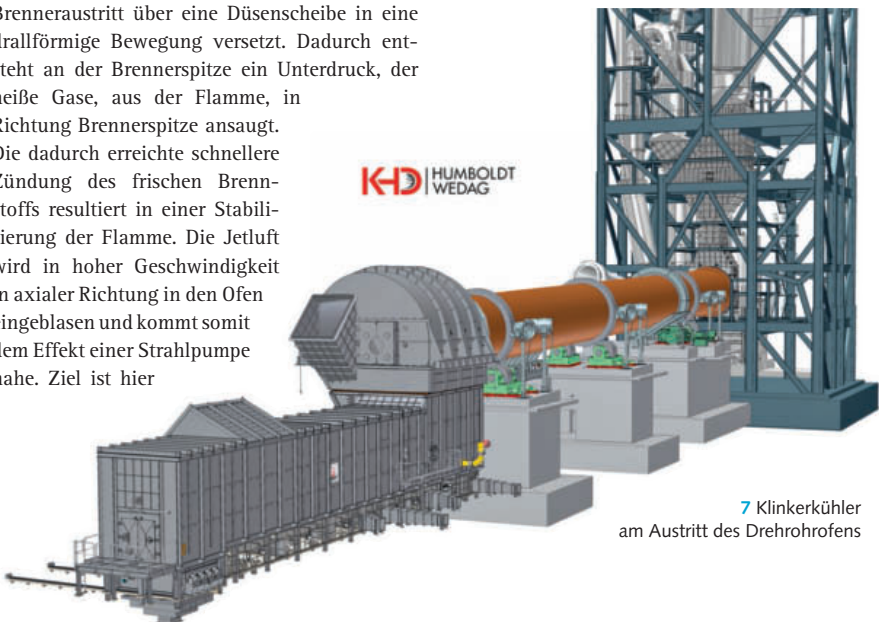
Bedingt durch die Vielzahl von primären als auch sekundären Brennstoffen mit den unterschiedlichsten Verbrennungseigenschaften muss ein moderner Drehrohrföfenbrenner in der Lage sein, die Flamme so zu beeinflussen, dass die Brennstoffenergie möglichst im Bereich der Sinterzone freigesetzt wird. Aufgrund der aus Klinkerqualitäts-

gründen hohen Flammentemperatur muss ein moderner Brenner auch den Anforderungen genügen, die thermische NO_x Bildung zu begrenzen. Diese beiden wesentlichen Ziele werden durch die Zugabe der sogenannten Primärluft erreicht. Dazu steht am Beispiel des KHD PYROJET® Brenners, siehe Bild 6, die Primärluft, bestehend aus Drallluft und Jetluft, zur Verfügung. Die Drallluft wird dem Pyrojetbrenner über einen Ventilator zugeführt und am Brenneraustritt über eine Düsenscheibe in eine drallförmige Bewegung versetzt. Dadurch entsteht an der Brennerspitze ein Unterdruck, der heiße Gase, aus der Flamme, in Richtung Brennerspitze ansaugt. Die dadurch erreichte schnellere Zündung des frischen Brennstoffs resultiert in einer Stabilisierung der Flamme. Die Jetluft wird in hoher Geschwindigkeit in axialer Richtung in den Ofen eingeblasen und kommt somit dem Effekt einer Strahlpumpe nahe. Ziel ist hier



6 KHD PYROJET®
Drehrohrföfenbrenner

das Ansaugen der heißen Sekundärluft aus dem Klinkerkühler in die Flamme hinein um genügend Sauerstoff für einen schnellen Brennstoffumsatz und entsprechend hohen Temperaturen zu erreichen. Die bei diesen hohen Temperaturen sich zwangsläufig einstellende Bildung von thermischen NO_x, aus dem Sauerstoff und Stickstoff der Verbrennungsluft, kann entgegengewirkt werden, indem man das Luftangebot im Flammennahbereich reduziert. Das wird erreicht, indem man die Menge der Primärluft verringert. Um trotzdem ein hohes Brenneraustrittsmoment zu erlangen, arbeitet der KHD PYROJET® Brenner mit hohen Primärluftdrücken und entsprechenden Geschwindigkeiten um den für die Beeinflussung der Flammenform notwendigen Impuls bei geringer Primärluftmenge und damit geringen NO_x Emissionen zu



7 Klinkerkühler
am Austritt des Drehrohrföfens

erreichen. Neben dem positiven Effekt der geringen Primärluftmenge auf die NO_x Bildung erreicht man auch eine Verbesserung in der Energiebilanz, da statt kalter Primärluft (Umgebungs-luft) mehr vorgewärmte Sekundärluft aus dem Klinkerkühler genutzt werden kann.

3. 5 Klinkerkühler

Die letzte Baueinheit in Richtung des Materialflusses im thermischen System ist der Klinkerkühler. Dort findet die Abkühlung der bis zu 1400 °C heißen Klinkergranalien und die Rückgewinnung von thermischer Energie für den Brennprozess im Drehrohrofen und Pyroclon Kalzinator statt.

Die Abkühlung des Klinkers bezweckt auch die Stabilisierung des Klinkerminerals Alit, welches wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit und damit auf die Qualität des Zements hat, sowie die Möglichkeit der problemlosen Weiterverarbeitung des Klinkers zu Zement in der Zementmühle.

Der heiße Klinker fällt aus dem Drehrohrofen auf einen Kühlrost, auf dem er transportiert und gleichzeitig abgekühlt wird. Moderne Rostkühler, wie z.B. der KHD PYROFLOOR®-Kühler, siehe **Bild 7**, arbeiten nach dem Prinzip des Schubbodentransports. In Längsrichtung und damit in Transportrichtung sind mehrere Rostbahnen nebeneinander angeordnet, die über eine Hydraulik gemeinsam in Richtung Klinker-austrag geschoben und dann einzeln zurückgezogen werden. Das Intervall aus gemeinsamer und einzelner Bahnbewegung sorgt für den Transport des heißen Klinkerbetts vom Ofenaus-trag bis zum Kühleraustrag.

Kühlluftventilatoren saugen kalte Umgebungsluft an und drücken diese durch den Rost in die heiße Klinkerschicht. Dabei wird der Klinker abgekühlt und die Luft aufgewärmt. Ein Teil der aufgewärmten Luft, die sogenannte Rekupe-rationsluft, wird als Sekundärluft mit Tempera-turen von mehr als 1000 °C als Verbrennungsluft im Drehrohrofen verwertet. Der andere Teil der Rekupe-rationsluft wird als Tertiärluft über die parallel zum Ofen verlaufende Tertiärluftleitung zum Kalzinator geleitet und dient dort als Ver-brennungsluft. Die Wärmerückgewinnung aus



8 Sekundärbrennstoff; Brennstoffmix aus unterschiedlichen aufbereiteten Abfällen für den PYROCLON® Kalzinator

dem Klinker an die Verbrennungsluft führt zu immensen Einsparungen im Brennstoffbedarf. Am Austrag des Klinkerkühlers befindet sich noch ein Klinkerbrecher, der größere Klinkerstücke oder Ansatzstücke (abgebrochene Materialansätze von der Ofenwand) zerkleinert. Am Austritt des Klinkerkühlers ist der thermische Prozess abgeschlossen und der Klinker verlässt den Prozess mit Temperaturen im Bereich von ca. 100 °C. Nach Zwischenlagerung im Klinkersilo kann er im nächsten Prozessschritt mit den verschiedensten Zuschlagstoffen (Gips, Hüttensand, Flugasche, Kalkstein, natürlicher Puzzolan ...) zu Zement vermahlen werden.

4 Umwelttechnik der modernen Klinkerherstellung

Der hier beschriebene Prozess der Klinkerherstellung ist verbunden mit einem intensiven Einsatz von Brennstoffenergie und elektrischer Energie, mit dem daraus resultierenden Ausstoß von CO₂ und weiteren Schadgasen, wie z. B. NO_x. Um die klimapolitischen Ziele zu erreichen und den negativen Einfluss auf die Umwelt weitestgehend zu reduzieren, hat sich der Bereich um den klassischen Herstellungsprozess um neue Prozesse und zusätzliche Maschinen und Technologien stark erweitert.

4.1 Einsatz von sekundären Brennstoffen

Die Gruppe der sekundären Brennstoffe besteht aus brennbaren Reststoffen aus Industrie, Gewerbe, Haushalten und Agrarwirtschaft. Je nach Qualität der sekundären Brennstoffe können hohe Anteile an primären Brennstoffen (fossile Brennstoffe) ersetzt und somit eingespart werden. Die Zementklinkerherstellung bietet hervorragende Eigenschaften, um diese Reststoffe energetisch und stofflich nutzen zu können. Bedingt durch die aus Klinkerqualitätsgründen hohen Prozess-temperaturen und Sauerstoffgehalte wird die organische Substanz der sekundären Brennstoffe annähernd rückstandsfrei verbrannt. Die mineralische Substanz der sekundären Brennstoffe ersetzt einen Teil des Rohmaterials und wird sicher in das Klinkermineral mit eingebunden.

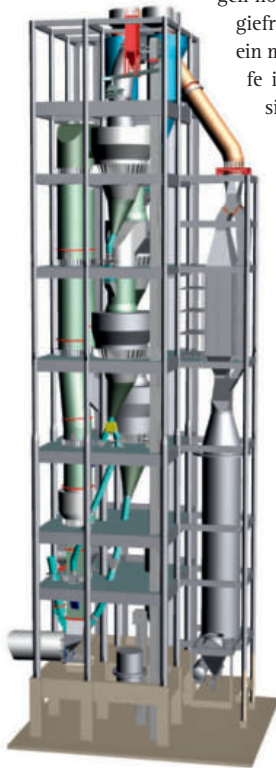
Für die Feuerung sekundärer Brennstoffe im Drehrohröfen bestehen hohe Anforderungen an die Qualität des sekundären Brennstoffs hinsichtlich einer möglichst homogenen Brennstoffzusammensetzung, hohem Heizwert und geringer Partikelgröße. Der sekundäre Brennstoff muss im Flugstrom ausgebrannt werden, um ein Ausregnen auf das Klinkerbett zu verhindern, damit es nicht zu Qualitätseinbußen durch reduzierende Brennatmosfera direkt am Klinkerkorn kommen kann. Die Freisetzung der Brennstoffenergie muss im Bereich der Sinterzone erfolgen. Eine Verschleppung der Brennstoffwärme in Richtung der Ofeneinlaufkammer darf nicht erfolgen.

Eine gute Vermischung der sekundären Brennstoffe innerhalb der Flamme ist daher eine wichtige Voraussetzung um hohe Anteile sekun-

därer Brennstoffe im Ofen verwerten zu können. Dafür gibt es für den KHD PYROJET® Brenner ein in Längsrichtung bewegliches Dralllufterelement, welches den Förderkanal für sekundäre Brennstoffe am Austrittspunkt umschließt und innerhalb des Brenners, vor Eintritt in den Ofen, liegt. Auf diese Weise wird der kompakte Förderstrahl der sekundären Brennstoffe noch im Brenner selbst aufgerissen und somit am Brenneraustritt besser in der Flamme verteilt.

Die Anforderungen hinsichtlich der Qualität der sekundären Brennstoffe für den Einsatz im Kalzinator sind geringer als im Vergleich zu denen für den Einsatz im Drehrohröfen. Das resultiert aus der längeren Ausbrandstrecke im Flugstrom und der für den Kalzinationsprozess nicht notwendigen hohen Temperaturen und damit der Energiefreisetzung auf kompakten Raum. Damit ein möglichst hoher Anteil dieser Brennstoffe im Kalzinator umgesetzt werden kann, sind neben der klassischen Verlängerung des Kalzinators zur Erreichung höherer Verweilzeiten auch Zusatzbauteile wie beispielsweise eine Brennkammer mittlerweile Stand der Technik [2]. Die Brennkammer bietet den Vorteil, dass der Start der Verbrennung in reiner, heißer Tertiärluft erfolgt und das aufgrund der konstruktionsweise der Brennkammer der Flammenbereich weitestgehend frei von Rohmehl gehalten wird. Die freigesetzte Brennstoffwärme wird in diesem Bereich nicht für die Entsäuerungsreaktion des Rohmehls sondern für den Anstieg der Flammentemperatur genutzt.

Der Einsatz sekundärer Brennstoffe ist in den Ländern Europas und Nordamerikas mittlerweile auf einem hohen Niveau angekommen. So liegt beispielsweise die thermische Substitutionsrate in Deutschland bei über 62% [3]. Die Feuerung sekundärer Brennstoffe ist eine der anerkannten Methoden, um CO₂ Emissionen der Zementwerke aus fossilen Brennstoffen zu senken [4].



9 KHD-Zyklonwärmetauscher; SCR Reaktor in der Abgasleitung (rechts, oben)

4.2 Primäre und sekundäre Abgasreinigung

Die Herstellung von Zement führt aufgrund der unterschiedlichsten Zusammensetzungen der Rohstoffe im Spurenstoffbereich sowie durch die Verbrennungsprozesse zu den verschiedensten Emissionen. Hier sind beispielsweise Stickoxide NO_x, Schwefeldioxid SO₂, Quecksilber, Kohlenwasserstoffverbindungen, Kohlenmonoxid, Staub und andere zu nennen.

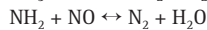
Die Vermeidung und Reduzierung von Schadgasen lassen sich in primäre und sekundäre Maßnahmen unterscheiden. Primäre Maßnahmen werden innerhalb des Prozesses durch die Anpassung der Prozessführung getroffen, mit dem Ziel, die Menge der Schadstoffe im Abgas zu reduzieren. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, werden sekundäre Maßnahmen eingesetzt. Das sind überwiegend zusätzliche Anlagenteile die für die weitere Reduktion der Schadstoffe notwendig sind und neben den Investitionskosten noch Betriebskosten verursachen.

Am Beispiel von NO_x werden hier die modernen Anforderungen an den Umweltschutz bezüglich der Emissionen dargestellt. Aktuell

werden in den Ländern Europas und den USA die bestehenden NO_x Grenzwerte verschärft und in vielen anderen Ländern der Welt werden derzeit Grenzwerte etabliert.

Primäre Maßnahmen zur NO_x Reduzierung sind sogenannte Low NO_x Brenner im Drehrohr-Ofen und besondere Kalzinatortypen, wie z.B. der PYROCLON® Low NO_x, der nach dem System der gestuften Verbrennung NO_x Verbindungen aus dem Ofen kommend reduziert. Dabei wird der Kalzinatorbrennstoff in einer Zone eingebracht in der er unterstöchiometrisch umgesetzt wird. Es entstehen brennbare Gasbestandteile die in der Lage sind NO_x zu reduzieren. In einem späteren Schritt wird der zur vollständigen Verbrennung notwendige Sauerstoff über die Tertiärluftleitung zugeführt.

Je nach NO_x Eingangskonzentration, Brennstoffeigenschaften und letztendlich erforderlichen NO_x Grenzwert können diese primären Maßnahmen nicht ausreichend sein, so dass sekundäre Maßnahmen eingesetzt werden müssen. Stand der Technik ist heutzutage die Reduktion von NO_x nach dem SNCR Verfahren (Selective Non-Catalytic Reduction). Hier wird eine ammoniakhaltige (NH₃) Verbindung in den Kalzinator eingedüst. Der Reaktionsmechanismus ist in den folgenden Reaktionsgleichungen dargestellt:



Im ersten Schritt wird aus dem Ammoniak ein reaktiveres NH₂ Molekül gebildet welches dann im darauffolgenden Schritt die NO_x Verbindung reduzieren kann. Die Bildung der dazu notwendigen NH₂ Moleküle ist stark temperaturabhängig und definiert damit den Schritt der die Effizienz des NO_x Abbaus bestimmt. Je nach Eingangskonzentration werden mit diesem Verfahren Grenzwerte von 300 bis 500 mg_{NO₂}/Nm³dry @ 10 Vol.-% O₂ erreicht.

Äußerst anspruchsvoll sind die für Deutschland geplanten Grenzwerte von 200 mg_{NO₂}/Nm³dry @ 10 Vol.-% O₂. Derzeit wird dazu das SNCR Verfahren optimiert und ein weiteres Verfahren, die Reduktion von NO_x am Katalysator (SCR = Selective Catalytic Reduction) in den Zemen-



10 Abwärmekessel während der Montage. Rohrbündel und Dampftrömmel

herstellungsprozess eingeführt. In **Bild 9** ist im oberen Teil der Abgasleitung der sogenannte SCR Reaktor zu erkennen, der aktuell in einem Auftrag für ein neues Zementwerk gebaut wird. Die chemischen Reaktionen sind ähnlich, laufen aber bedingt durch den Katalysator bei geringerer Temperatur und höherer Effizienz ab. Erste Installationen des SCR Verfahrens im Zementwerk haben schon gezeigt, dass der neue, verschärfte NOx Grenzwert erreicht werden konnte.

4.3 Abwärmenutzung

Ein weiterer Schritt die klimapolitischen Zielvorgaben zur Senkung der CO₂ Emissionen zu erreichen, ist die Installation von Systemen zur Nutzung von Abwärme im Zementwerk. Am verbreitetsten ist die Erzeugung von überhitztem Wasserdampf und daraus die Umwandlung in elektrische Energie.

Dazu wird in der Abgasleitung nach Zyklonwärmetauscher und in der Abluftleitung vom Klinkerkühler jeweils ein Abhitzeessel (**Bild 10**) installiert der aus den Kesseleinheiten, vom heißen Abgas zum abgekühlten Abgas, Dampf-Überhitzer, Wasser-Verdampfer und Wasser-Vorwärmer besteht. Die Grenzen des Systems zur Nutzung der Abwärme liegen dabei in der Feuchtigkeit der im Zementwerk eingesetzten Rohmaterialien und Zuschlagstoffe für die Zementmühle. Hierfür muss nach der Abwärmenutzung zur Verstromung noch genügend Wärme zur Trocknung dieser Materialien vorhanden sein.

Der überhitzte Wasserdampf wird anschließend in einer Dampfturbine entspannt. Die mechanische Arbeit wird im Generator in elektrische Energie umgewandelt. Das Potential liegt dabei bei ca. 30 kWh elektrischer Energie pro

Tonne Klinker. Das entspricht in etwa 1/3 der im Zementwerk benötigten elektrischen Energie, die aus der Abwärme erzeugt werden kann.

5 Zusammenfassung

Die Herstellung von Zementklinker erfolgt heutzutage in den meisten Fällen in modernen Ofensystemen ausgestattet mit Zyklonwärmetauscher, Kalzinator, Drehrohrofen und Rostkühler. Die bislang maximal erreichten Produktionsmengen pro Anlage liegen mittlerweile um die 12000 t Klinker pro Tag. Bedingt durch den hohen Einsatz von Brennstoff und elektrischer Energie ist die Zementindustrie weltweit in den Fokus gerückt mit den Anforderungen ihre CO₂ Emissionen und damit den Energieverbrauch sowie die Emissionen von Schadgasen zu minimieren. Neben der klassischen Auslegung und Optimierung von thermischen Systemen zur Erzeugung von Zementklinker kommen immer mehr Sekundär-Technologien hinzu um die umweltrelevanten Ziele zu erreichen. Hier ist beispielsweise die Ausrüstung des Zementwerks mit Lager-, Transport-, Dosier- und Brenntechnik zu nennen, um alternative Brennstoffe umsetzen zu können oder zur weiteren Einsparung von elektrischer Energie die Implementierung von Anlagen zur Nutzung und Wandlung von Abwärme in elektrische Energie. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der primären und sekundären Vermeidung von schädlichen Emissionen. Hier gibt es Sonderlösungen für die Zementindustrie sowie die Übertragung von Technologien aus anderen Industriezweigen. Damit erweitert sich das klassische Feld der Zementverfahrenstechnik um den Bereich der Umweltverfahrenstechnik der in immer mehr Ländern die Grundvoraussetzung für den Neubau oder der Modernisierung von Zementwerken geworden ist.

LITERATUR

- [1] Locher, F.W.: Zement. ISBN 978-3-7640-0400-2, Verlag Bau + Technik, 2000
- [2] Schürmann, H.: KHD combustion chamber – flexible use of alternative fuels in the cement plant In: ZKG International (2012) No. 11, pp.52-62
- [3] Verein Deutscher Zementwerke e.V., VDZ: Umweltdaten der deutschen Zementindustrie. Düsseldorf, 2013
- [4] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) & International Energy Agency (IEA): Cement Technology Roadmap 2009, Carbon emissions reduction up to 2050. ISBN 978-3-940388-47-6, 2009

Reduzierung der Quecksilberemissionen im Zementwerk Wietersdorf



Annett Fischer, ZKG

1 Dipl.-Ing. Florian Salzer vor dem Schlauchfilter für die Sorptionsmitteltrennung

Gemeinsam mit den Anlagenbauern Scheuch GmbH und A TEC hat das Zementwerk W&P in Wietersdorf die ExMercury entwickelt, eine Anlage zur Reduktion von Quecksilberemissionen. Wir sprachen mit Dipl.-Ing. Florian Salzer (30), Head of Technology, W&P Zement GmbH, Wietersdorf/Austria, über die Entwicklung, Ergebnisse und die Zusammenarbeit bei diesem Pilotprojekt.

ZKG: *Warum haben Sie überhaupt in eine Anlage zur Reduzierung der Quecksilberemissionen investiert?*

SALZER: Den bisher gültigen Grenzwert für Quecksilberemissionen von $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ haben wir sicher erreicht. Aber, ab 2016 gilt ein verschärfter Wert von $30 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ in Österreich. Uns war schon frühzeitig wichtig, dass wir die

geforderten Quecksilberemissionen auch in der Zukunft einhalten. Wir setzen Klärschlamm als einen alternativen Brennstoff ein, der als eine der Hauptquellen für Quecksilber gilt. Da wir den Zusatz dieses CO_2 -neutralen Brennstoffs eher noch verstärken wollen, haben wir bereits vor vier bis fünf Jahren angefangen, nach einer Lösung zu suchen, mit der wir die geforderten $30 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ sicher erreichen.

ZKG: *Welche Alternativen zum nun eingesetzten ExMercury-System gab es?*

SALZER: Wir wussten natürlich, dass es Möglichkeiten gibt, den anfallenden Staub auszuschleusen und den Quecksilberkreislauf damit zu entlasten. Als Erstes haben wir deshalb erst einmal unseren eigenen Quecksilberkreislauf beobachtet. Dazu haben wir sehr viele Messungen gemacht und sogar in ein eigenes Messgerät zur Quecksilberanalyse investiert, um schnell Ergebnisse zu haben. Wir haben erst einmal alle Bilanzen erstellt und uns klar gemacht, wo das Quecksilber eigentlich herkommt. Mit diesen Analysen konnten wir abklären, welche Mengen aus den Rohstoffen, in der Kohle und in den Ersatzbrennstoffen kommen. Nach der Auswertung aller Bilanzen haben wir gesehen, dass wir eine relativ große Menge an Filterstaub hätten ausschleusen müssen. Aber, man muss auch schauen, was man mit diesen Staubmengen macht. Bei uns wären diese anfallenden Staubmengen, die man kostspielig und kompliziert hätte entsorgen müssen, einfach zu groß gewesen. Also haben wir geschaut, welche Systeme es noch gibt.

Wir haben uns in dieser Sache mit Aktivkohlefestbettfiltern, die hauptsächlich in Müllverbrennungsanlagen installiert sind, beschäftigt. Eine Installation dieser Art ist sogar in einem Zementwerk in der Schweiz installiert.

Der Nachteil einer solchen Anlage ist aber, dass man außerordentlich hohe Investitions- und Betriebskosten hat, welche für uns nicht tragbar gewesen wären.

ZKG: *Warum haben Sie sich letztendlich für das ErMercury-System entschieden?*

SALZER: Wir haben in der Vergangenheit schon erfolgreich mit den Firmen Scheuch und A TEC zusammengearbeitet. Deshalb haben wir uns dann vor vier, fünf Jahren gemeinsam überlegt, wie wir die Quecksilberemission vermindern können. Daraus ist die Idee für die ExMercury-Anlage entstanden und seitdem wurde die Idee weiterentwickelt. Nachdem das Grundkonzept stand, haben wir Versuche im Werk gemacht, ob das Ganze auch so funktionieren würde. Dabei wurde abgeklärt, ob die Auswirkungen auf die Emissionen so sind, wie wir uns das vorgestellt haben und ob das langfristige Ausschleusen von Staub so möglich ist. Nach diesen ganzen Versuchen, bei denen wir das Material eine ganze Woche lang ausgeschleust haben, zeigte sich, dass wir eine starke Verminderung der Quecksilberkonzentrationen haben. Uns war nun klar, dass uns das längerfristige Ausschleusen von Material sehr viel bringt. Unsere Erwartungen, dass wir einen Wert kleiner $30 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ unterschreiten, wurden im Rahmen dieses Versuchs sogar übertroffen.

Der nächste Schritt war es, zu überlegen, wie wir den Quecksilberkreislauf entlasten können. Dazu haben wir umfangreiche Untersuchungen in unserem Labor gemacht. Wir haben den Staub bei verschiedenen Temperaturen im Muffelofen behandelt und immer wieder gemessen und so festgestellt, wie hoch der Staub erhitzt werden muss, um eine sichere Abscheidung zu gewährleisten. In einem Temperaturintervall zwischen 300 und 400 Grad konnte das im Staub enthaltene Quecksilber vollständig abdampfen.

Nach all diesen Untersuchungen haben wir die Anlage ausgelegt. Das große Problem war es, dass wir den Staub von den quecksilberhaltigen Abgasen abscheiden wollten. Dafür war in der benötigten Größenordnung einfach noch keine Technologie vorhanden, was den Heißgasfilter

betrifft. Natürlich gibt es die Elektrofilter, da wir aber in diesem Bereich auch ziemlich hohe CO-Konzentrationen haben, hätte das nicht funktioniert. Da der Schlauchfilter nur bis 250°C einsetzbar ist, hat sich Scheuch entschlossen, einen neuen Keramikkerzenfilter zu entwickeln, den sie vorher noch nicht gebaut haben. Ein sehr wichtiger Punkt für die Umsetzung war, dass wir durch die Förderstellen Kommunalkredit in Verbindung mit dem Umweltbundesamt und dem Umweltministerium unterstützt wurden, die das Projekt als Pilotprojekt gefördert haben. Nachdem wir den positiven Förderbescheid in der Hand hatten, haben wir uns im Sommer 2014 kurzfristig entschlossen, die Anlage so zu bauen. Der Baubeginn war dann im Oktober 2014, in Betrieb genommen haben wir die Anlage im April 2015.

ZKG: *Die Anlage läuft nun seit rund drei Monaten. Wie zufrieden sind Sie bisher damit und werden die geplanten Ziele erreicht?*

SALZER: Ich bin immer noch ganz begeistert von der Anlage. Das war wirklich ein Start-Ziel-Sieg bei diesem Projekt! Wir haben uns das ehrgeizige Ziel gesetzt, das wir bis 2017 einen Abscheidegrad von 80 % erreichen. Der Abscheidegrad ist dabei so definiert, dass wir 80 % des Quecksilbers, welches über die Roh-, Brenn-, und Ersatzbrennstoffe eingebracht werden, mit Hilfe der Anlage gezielt entfernen, d.h. auf der Aktivkohle adsorbieren. Diese 80 % haben wir aber im Durchschnitt schon innerhalb der ersten drei Monate, von Beginn an, mit den Grundeinstellungen erreicht. Natürlich gibt es auch Situationen, wo zwischendurch höhere Quecksilberkonzentrationen auftreten. Aber, es ist ja auch ein Pilot-Projekt. Hier müssen wir weiter forschen, woher das kommt und wie man Abweichungen sicher in den Griff bekommt.

ZKG: *Wie war die Zusammenarbeit mit A TEC und Scheuch bei diesem Pilotprojekt?*

SALZER: Die Zusammenarbeit mit A TEC und Scheuch war sehr gut, wir waren ein tolles Team und es haben auch die richtigen Mitarbeiter zusammen gearbeitet. Wir hatten immer sehr offene Gespräche und Diskussionen, in denen jeder sei-



W&P Zement

2 Das Werk der W&P Zement GmbH in Wietersdorf/Österreich

nen Teil beigetragen hat. Wir vom Zementwerk haben unseren bestehenden Prozess gekannt und gewusst, wo wir angreifen müssen. Scheuch war der Experte für die Filtertechnik, d.h., die haben den ganzen Teil ausgearbeitet, bei dem es um den Heißgasfilter, den Sorptionsreaktor und den Sorptionsfilter ging. A TEC ist schon seit langem unser Partner beim Pyroprozess. Gemeinsam mit A TEC haben schon andere Projekte durchgeführt, bei denen Heißgas oder Gasteilströme aus dem System abgezogen werden mussten. Die haben also schon gewusst, wie das funktioniert.

So haben wir alle zusammen das Konzept ausgearbeitet und dann auch ohne Verzögerungen durchgezogen und den Zeitplan eingehalten. Es hat keine Probleme gegeben, nicht beim Equipment und auch nicht bei dessen Lieferung. Wir mussten keine nennenswerten Nachbesserungen an der Anlage machen, was sonst ja oft normal ist. Unser großer Vorteil war sicher, dass wir die letzten vier, fünf Jahre Zeit gehabt hatten, das Projekt zu verfeinern. Es war schon ein bisschen ein Abenteuer, weil es keiner vorher gemacht hat. Wir haben uns vorher so intensiv damit befasst, dass wir unsere Gesellschafter davon überzeugen konnten, die Investition freizugeben – und, es hat ja auch geklappt. Jetzt, im Dauerbetrieb läuft die Anlage ohne größere Probleme. Natürlich können auch Probleme auftreten, die wir heute noch nicht kennen. Dafür betreiben wir ja das Forschungsprojekt, in dem

wir in den nächsten 1,5 Jahren noch weitere Erkenntnisse sammeln und das System auch weiter optimieren wollen.

ZKG: Welche weiteren Optimierungsmöglichkeiten im Werk Wietersdorf stehen nun auf Ihrer Agenda?

SALZER: Es kommen immer wieder neue Herausforderungen auf uns zu. Wir verfolgen das ehrgeizige Ziel, den Anteil alternativer Brennstoffe auf 100 % zu erhöhen. Die gemeinsam mit A TEC entwickelte Rocket Mill zum Zerkleinern von hochwertigen Kunststoffen ist inzwischen schon wieder zu klein geworden, hier müssen wir in eine größere Anlage investieren. Außerdem müssen wir den Chlorbypass erweitern.

Mit der Quecksilberabscheidung haben wir nun eine Aufgabe gelöst, die uns hier Sicherheit für die Zukunft gibt. Wir fahren heute bereits Werte, die unter den ab 2016 geforderten 30 µg/Nm³ liegen. Nun versuchen wir, das Maximale aus der Anlage heraus zu holen. Inzwischen liegen uns Daten zum Betriebsmittelverbrauch vor und damit sind wir auch sehr zufrieden. Wir werden ungefähr 20 t Herdofenkoks pro Jahr verbrauchen. Das sind nicht nur geringe Einsatz-, sondern auch Entsorgungsmengen, da die verbrauchte Kohle entsorgt werden muss.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit sehen wir darin, den Herdofenkoks zu recyceln. Hier wollen wir mit Firmen zusammenarbeiten,

die den Koks aufbereiten und das Quecksilber als Wertstoff gewinnen. Solche Unternehmen gibt es sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz und mit denen sind wir derzeit in Kontakt. Unser Ziel ist es, die Aktivkohle wieder zurückzugewinnen zu können und nichts deponieren zu müssen. Aber wir wollen auch die Anlage weiter optimieren. Sie läuft zwar derzeit mit dem Herdofenkoks mit relativ geringen Betriebskosten. Zukünftig möchten wir aber lieber ein anorganisches Adsorptionsmittel verwenden. Die Anlage soll für zukünftige Anwendungen auch kleiner und günstiger in den Baukosten werden, um sie weltweit einsetzen zu können. Wenn man keinen Herdofenkoks mehr verwenden muss, fällt natürlich auch der ganze Explosionsschutz weg. Das würde das System nicht nur kostengünstiger, sondern auch sicherer machen.

In einem weiteren Forschungsvorhaben, welches wir gemeinsam mit der Montanuniversität Leoben und den anderen Projektpartnern betreiben und das zusätzlich von der FFG unterstützt wird, fahren wir Versuchsreihen und testen anorganische Adsorptionsmittel.

ZKG: *Welche zusätzliche Manpower wird für den Betrieb der ExMercury-Anlage benötigt?*

SALZER: Die Anlage läuft vollautomatisch und fährt komplett selbstständig hoch und runter, es ist fast kein Eingriff durch Bedienpersonal nötig. Das heißt, dass unsere Mitarbeiter fast keine zusätzliche Belastung haben. Ein Arbeitsaufwand stellt lediglich das Nachfüllen der Aktivkohle und das Abfüllen der gebrauchten Kohle dar. Das ist ein Zusatzaufwand von ca. 2 bis 3 h/Woche.

Wichtig bei der Umsetzung war es auch, dass W&P ein sehr gut ausgerüstetes Labor mit qualifizierten Mitarbeitern hat. Das Projekt konnte nur umgesetzt werden, weil wir in eigene Analysen-

technik für die Quecksilberbestimmung investiert haben. So konnten wir selbst in Echtzeit messen, 3 x 5 Proben täglich. Das wäre mit einem Fremdlabor so nicht machbar gewesen. Auch jetzt analysieren wir im Rahmen einer kontinuierlichen Überwachung noch 5 Proben täglich.

ZKG: *Wie haben Sie Ihre Mitarbeiter im Umgang mit den quecksilberhaltigen Abfällen geschult?*

SALZER: Wir haben uns intensiv mit dem Umgang von quecksilberhaltigen Abfällen zum Schutz unserer Mitarbeiter beschäftigt. Wir haben diese und auch den Betriebsarzt frühzeitig in den Entscheidungsprozess integriert. Unser Ziel war es von Anfang an, Vertrauen zu schaffen. Dazu haben wir unsere Mitarbeiter nicht nur informiert, sondern auch geschult, z. B. hinsichtlich des Einsatzes der persönlichen Schutzausrüstung. Es wurden Verfahrensanweisungen erarbeitet und den Mitarbeitern erläutert, wie die Anlage funktioniert und welches Gefahrenrisiko besteht.

Aber nicht nur der offene Umgang mit unseren Mitarbeitern ist uns wichtig. Wir informieren auch die Bevölkerung im Rahmen des „gläsernen Werkes“ über unsere Emissionswerte.


Wir sind offen für Fragen und auch bereit, diese Anlage unseren Kollegen aus anderen Zementwerken zu zeigen. Wir haben gemeinsam mit unseren Partnern Scheuch und A TEC ein Interesse daran, diese Technologie nach außen zu tragen. Wir wollen und können damit einen wertvollen Beitrag leisten, die Quecksilber-Emissionen weltweit zu reduzieren.

ZKG: *Herr Salzer, wir bedanken uns für das informative Gespräch und wünschen Ihnen viel Erfolg bei Ihren weiteren Optimierungsarbeiten.*

www.umwelt.wup.at

Vita Florian Salzer

2005 nach dem Abitur ein Jahr Praktikant in Wietersdorf, Mitarbeit am Projekt Wärmetauscher
 2006–2010 Duales Studium in Graz, mit Unterstützung von W&P
 2010–2012 Projektleiter im Zementwerk Peggau
 2012–2015 Verantwortlicher Projektleiter für Wietersdorf und Peggau
 seit 3/2015 Head of Technology für Geschäftsfelder Zement/Beton und Kalk



Due to the current trend of maximizing the substitution rates of alternative fuels, whilst emission regulations are being made more restrictive, the cement industry is facing a new challenge with minimization of a special pollutant. Mercury emissions have been identified as being caused by alternative fuels or contaminated raw materials and require an abatement system downstream of the pyroprocess. With the new ExMercury system, the consortium of A TEC, W&P Zement and Scheuch, has set up an effective solution combining a high emission reduction of up to 80 % with minimized operating and investment costs. This article also reviews briefly the basic mechanisms of the formation and reduction of Hg in the pyroprocess.

TEXT Dr. Stefan Kern¹, Dipl.-Ing. Florian Salzer², Dipl.-Ing. Holger Reinhold³

¹ A TEC Production and Services GmbH, Gödersdorf/Austria

² W&P Zement GmbH, Wietersdorf/Austria

³ Process Technology Industrial Minerals, Scheuch GmbH, Aurolzmünster/Austria

The integrated cement production plant with its five stage precalciner plant from W&P Zement in Wietersdorf/Austria

[A TEC/W&P ZEMENT/SCHEUCH](#)

Breaking the mercury cycle for emission abatement with the “ExMercury – Splitted Preheater System”

1 Introduction

The reduction of anthropogenic mercury emissions is of great interest, especially since it was agreed at the Minamata convention in 2013 which provided a basis for a worldwide reduction of mercury emissions [1]. Mercury is classified as a pollutant due to its toxicity and due to its physical properties as it forms a cycle in the atmosphere, leads to bioaccumulation and therefore

enters the food chain. Therefore the focus is set on a limitation in the emission of this element.

The cement industry has been identified as second largest gaseous emission source of mercury just behind the conventional combustion of coal in thermal power and heating plants as well as in heating systems [2]. The limitation of mercury emissions in the cement industry is regulated nationally and therefore

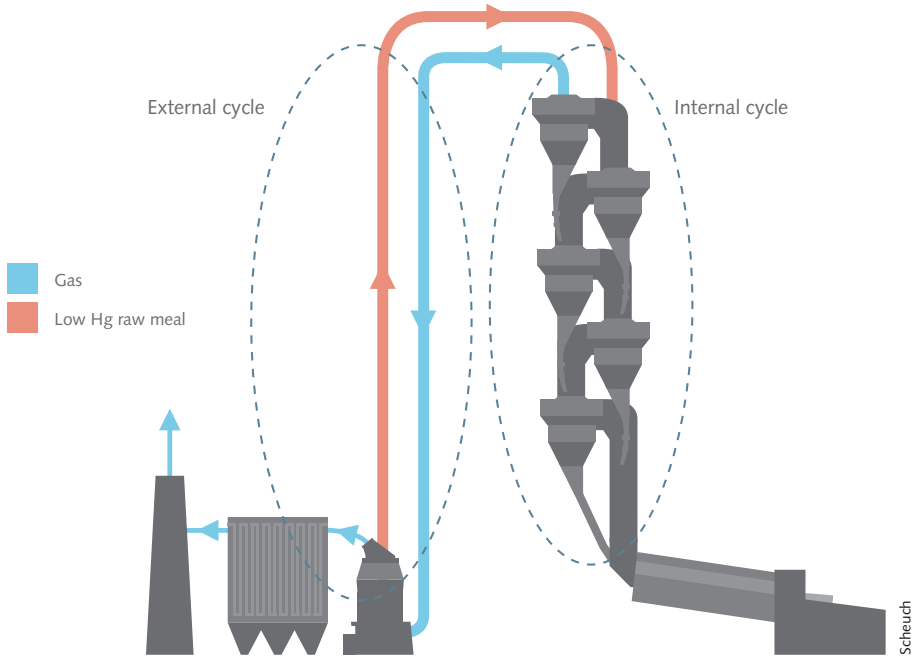


different limits between countries are valid. The most common limits are between $100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ and $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (referred to 10% O_2). However some countries issued even stricter limits for the cement industry, like Germany, which is even more generous with $30 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, compared to the USA. In the USA, a new regulation will come into force during September 2015 which differs between existing (before 2005) and new or reconstructed plants where the first will be allowed to emit $55 \text{ lb}/\text{Mt}_{\text{clinker}}$ and the latter only $21 \text{ lb}/\text{Mt}_{\text{clinker}}$ (which is approx. $10 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ and $4 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, respectively) [3, 4].

To provide an impression of the importance of these values, a prior study analyzed the mercury emissions of 44 cement kilns in Germany and it turned out that most of the mercury emissions were below $40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, only six kilns were higher than or equal to $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ [5]. This

impressively shows that already with the new German limitation an active reduction of the mercury emissions in the cement plants will be necessary in the respective cases. Based on these numbers, the situation in the USA will be even more challenging to meet the limits.

As the reduction of mercury emissions in the cement industry is either linked to high operating costs for fuel and raw material cleaning, flue gas sorbents, or investment costs for flue gas treatment systems, it has been decided to propose a new system combining low investment costs as well as lowest operating costs and minimized ecological footprint. The system, called ExMercury, described here, has been developed by the pyro-processing specialist, A TEC Production & Services GmbH, the filter specialist, Scheuch GmbH, and the cement manufacturer W&P Zement GmbH with its cement plant in Wietersdorf/Austria.



1 Typical diagram of a dry cement clinker production process highlighting internal and external cycle

2 Theoretical background and methods for mercury abatement

The cement clinker production process is mainly characterized by the preparation of the raw materials in the raw mill and the subsequent burning process in the pyrosection of the process, which consists of a rotary kiln where the sintering process takes place at material temperatures of 1450 °C. Depending on any separate upstream preheating and precalcining step, the plant process can differ as being wet, semi-wet, semi-dry and dry. As about 78 % of Europe’s cement plants are operated according to the dry process, this process type is considered here [6].

Figure 1 shows a typical diagram of a dry cement clinker production process. In the pyroprocess itself, the temperatures of gases (combustion air and exhaust gas) and solid materials (raw materials, dust, clinker) have a very wide range from about 2000 °C (kiln burner flame), down to around 120 °C (Filter). The counter current flow

of flue gas and fresh raw material which mainly consists of CaCO₃ and CaO at zones of higher temperatures causes the simultaneous effect that acid gases such as SO₂, HCl, or HF [6] can be captured in the solids and do not leave the stack as emissions [7]. This basic principle can also be found for other species which can condense at lower temperatures at the solid particles. Two effects have to be mentioned by this process configuration, which are an internal cycle and an external cycle.

The internal cycle deals with the effect that volatile inorganic material might evaporate at the high temperatures in the hot kiln region and get condensed/adsorbed at zones in the preheater where lower temperatures than the evaporation temperature of the species apply. By the material flow, the condensed particles are recycled to the hot region where these components evaporate, at least partially, again, forming the internal cycle. Well known com-

ponents for this cycle are chlorine, sulphur and alkaline components, but also heavy metals can be found here.

The external cycle is built up downstream of the pyroprocess, from the flue gas point of view. This mass flow includes the raw mill, the filter, the raw meal silo and the pyroprocess. Some volatile species might condense at the temperatures present in this area and end up in the filter dust as cement kiln dust (CKD). The CKD is often blended to the raw meal, which leads to the reintroduction of the condensed species in the process and therefore the external cycle is closed. Typical species for being adsorbed in the external cycle are NH_3 and heavy metals.

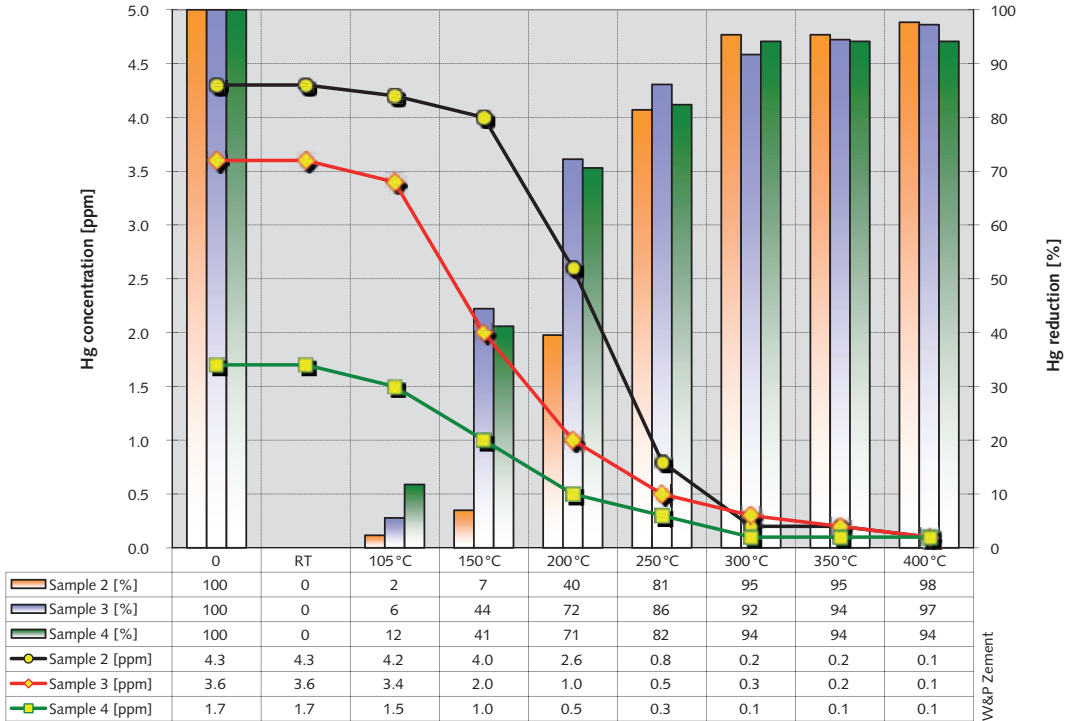
A further difference coming from the operation mode of the raw mill is if the raw mill is on (compound mode) or off (direct mode). In the compound mode, the potential for the adsorption of the species mentioned above is higher due to the lower final exhaust gas temperatures and the increased load of the gas flow with fresh raw material as sorbent. In direct mode the pollutants adsorb on the CKD only and the final exhaust gas temperature at the filter inlet might be higher. Due to the fact that the plants mainly operate in the compound mode (80–90%) [8], this mode will be considered for the explanations here.

Mercury is introduced by the raw materials and/or the fuels for cement production. Especially alternative fuels can be the source of increased values of mercury [9–12]. Mercury emissions are a complex topic due to the wide range of mercury compounds that can be formed in the process. Beside elemental mercury, it can be released from the combustion process as particle-bound mercury (adsorbed) or oxidized as Hg^{2+} . Here the oxidized mercury contains the range of various compounds of mercury with other elements that are present in the process. Their formation depends mainly on the operating conditions and the compounds present in the pyroprocess as well as the cooling step (quenching speed and time) [7]. The different temperatures of melting, boiling and sublimation can be found in **Table 1**.

Mercury is a species which affects the process of the internal as well as the external cycle as shown in **Figure 2**. As explained above, mercury can be introduced by the fuels or the raw materials. In the pyrosection both sources evaporate and condense again in the raw mill or kiln filter. Therefore the highest concentration of mercury can be found in the cycle between kiln meal silo and the pyroprocess. If the dust cycle is highly loaded with mercury or if the temperature prior to the main filter is too high,

Tab. 1 Temperatures of melting, evaporation and sublimation for different Hg species [13, 14]

Formula	Melting point [°C]	Boiling point [°C]	Decomposition/Sublimation temperature [°C]
Hg(0)	-39	357	n.a.
Hg ₂ Cl ₂	525	n.a.	383
HgCl ₂	277	302	n.a.
Hg ₂ SO ₄	n.a.	n.a.	n.a.
HgS	n.a.	446-583	580
HgO	n.a.	356	500
Hg ₂ Br ₂	405	n.a.	340–350
HgBr ₂	237	322	n.a.
Hg ₂ I ₂	n.a.	n.a.	140
HgI ₂	259	350	n.a.
Hg ₂ F ₂	n.a.	n.a.	570
HgF ₂	645	650	645
Hg ₂ (NO ₃) ₂	n.a.	n.a.	70
Hg(NO ₃) ₂	79	n.a.	n.a.



3 Results of the thermal treatment tests of filter dust focusing on the evaporation, and therefore reduction, of Hg

4 Fact finding for the process design of the pilot plant in Wietersdorf

To gain knowledge about the mercury cycle in the plant, a balance of the system with a focus on mercury was accomplished. The main finding was that the internal cycle of mercury was 19 times as high as the input where the CKD already contained already 11 times the fraction of Hg of the input. The results were gaseous mercury emissions of 39 µg/Nm³ at the stack.

In a second campaign the whole amount of CKD was removed (dust shuttling) and already after about three days of dust shuttling the internal cycle was reduced to the factor of 5.5 (of the mercury input). The result was a reduction of the mercury emissions down to 10 µg/Nm³.

This test showed the high potential of dust shuttling. The problem which arose was the high amount of dust which is lost and should

be handled. Therefore the aim was a high re-utilization of the dust and a small fraction of Hg loaded material.

Heating tests of the kiln dust (Figure 3) showed that the evaporation of the total mercury reaches a high level at temperatures above 300 °C. Based on these results, it was decided to plan a thermal treatment of the dust to remove Hg from the CKD with the aim to reintroduce the clean dust in the system. The gaseous mercury should be bound to a low amount of sorbent.

5 The ATEC/Scheuch/W&P ExMercury system

Based on the investigation described before, the ExMercury system was designed as a “splitted preheater” with the following function shown in the basic principle in Figure 4. The kiln filter dust is heated up by hot combustion flue gas, which is withdrawn from the lowest cyclone stage. In

PROCESS

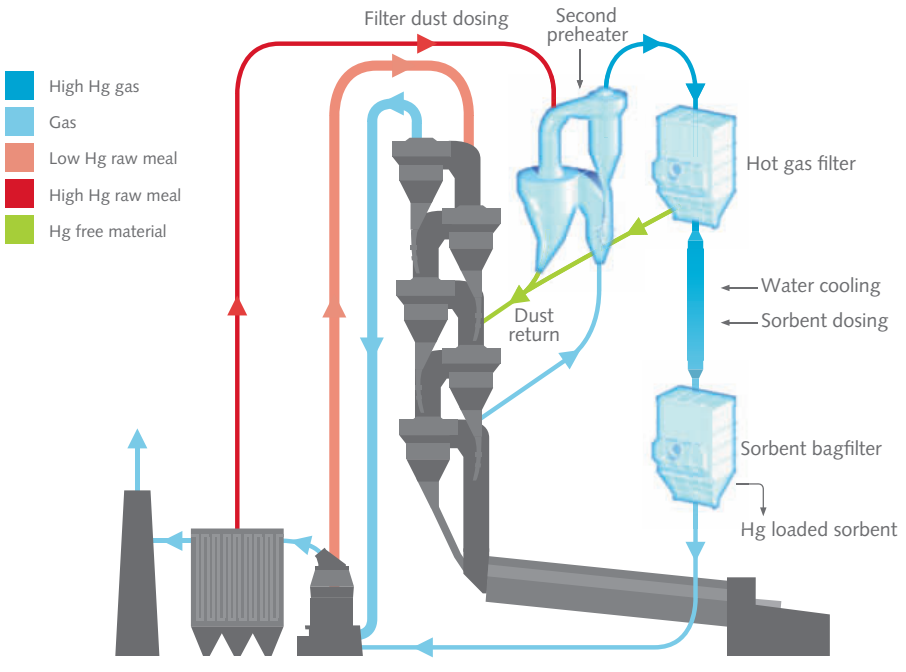
this second preheater line, the kiln filter dust is heated up to the required temperature examined in the tests before (Figure 3) to evaporate the mercury. By several cyclones, the hot dust is separated and returned to cyclone stage three of the preheater tower. After the cyclones, a hot gas filter using ceramic filter candles removes any fine particles which are returned similar as the particles from the cyclones to the preheater while the mercury is still gaseous.

The particle free mercury loaded gas stream is rapidly quenched by water injection in the quenching reactor where simultaneously activated carbon or any other sorbent (e.g. lignite coke) is injected where the mercury is captured. Subsequently to this step a bag filter separates the sorbent. The sorbent can be recycled in the system until the mercury load is too high and mercury is detected after the filter which removes the sorbent. This allows a maximum uti-

lization of the sorbent and leads to minimized sorbent consumption. Another safety aspect to avoid any mercury emissions at the stack is that the mercury free gas is added to the main gas stream prior to the raw material mill.

6 First operational results of the system in Wietersdorf

The ExMercury system installed in the cement plant in Wietersdorf was commissioned at the beginning of 2015. Impressions of the installation can be seen in Figures 5–8. It was started with values of mass and volume flow rates and temperatures, which means a filter dust input of 5–7 t/h and heating up to a temperature of max. 400 °C. The gas withdrawal from preheater stage 5 is approx. 3–5% of the total gas flow in the pyro-process. Analysis of the Hg content of the dust particles shows impressively the function of the system as described below.



4 The ExMercury splitted preheater system implemented in the existing system



W&P Zement

5 View of the second preheater line ductwork (between stack and downcomer duct)



W&P Zement

6 Cooling duct and bag filter for sorbent separation

The input concentration on the filter dust was up to 10 ppm of Hg what means 100% of mercury input into the ExMercury system. Measurements showed that after evaporation in the second preheater line approx. 90–95% of the mercury load will still be in the gaseous phase after the cyclones and the hot gas filter. The particles separated in the cyclones and the hot gas filter and returned to the preheater at the elevated temperature contained the rest of the mercury load.

Although the difference in the Hg concentration of the dust separated in the cyclones (0.05–0.2 ppm) and in the hot gas filter (0.25–0.5 ppm) is only minimal, the slightly increased concentration of mercury on the filter dust can be attributed to two main mechanisms. The main reason is that the temperature dropped towards the filter slightly and a few mercury compounds already re-condensed and secondly as there the particle size can be expected to be much smaller, the increased specific surface of the particles allows in general higher concentrations. However consid-

ring the mass flow rates separated in the cyclones and in the hot gas filter, this effect will not influence the balance of the system very much.

Subsequently to the hot gas filter, the pure gas stream transporting the gaseous mercury is cooled by water injection in the cooling reactor (which is located between the hot gas filter and the bag filter for sorbent separation) to about 100–120 °C. In this section the sorbent for mercury adsorption is injected. The system is designed to handle organic as well as inorganic sorbents. Currently lignite char is used due to the lower price compared to activated carbon or brominated activated carbon. It has been found out that the lignite char can be loaded with Hg to an extraordinary high level without any problems. To keep this level, the sorbent is replaced in a low amount continuously with a rate of less than 50 kg per day. Consequently, this leads to a yearly consumption of this sorbent of only up to 20 t/a.

Even the consumption of fresh additive is at a low level, the removal efficiency of the

PROCESS

ExMercury system is more than 90% and the mercury emissions at stack were reduced up to 80%.

The cleaned gas after the bag filter is added before the raw mill to use the main stack. The Hg content in the gas is monitored to influence the extraction rate of the sorbent. Any residual Hg emissions from the ExMercury system if they occur are scrubbed in the raw mill.

Having also a short look at the energy and heat consumption of the system, it soon becomes clear that the removed lead and heat from cyclone stage 5 does not lead to an increased heat consumption of the overall system. As the

dust is heated up and returned hot to the pyroprocess. It is just a different way of feeding to the system. Instead of feeding a blend of CKD and raw meal conventionally, the dust is fed separately in this “splitted preheater”. The residual gas temperature after particle separation in the cyclones and the hot gas filter is about 360 °C which is not significantly different from the preheater top stage exit temperature. Therefore, the overall heat balance of the system remains unchanged. Operating costs occur only due to the fan which drives the system and the small drives of the dust conveying system.



7 Partly visible cyclones for separation of the heated dust particles after the thermal treatment in the second preheater line



8 Sorbent extraction system

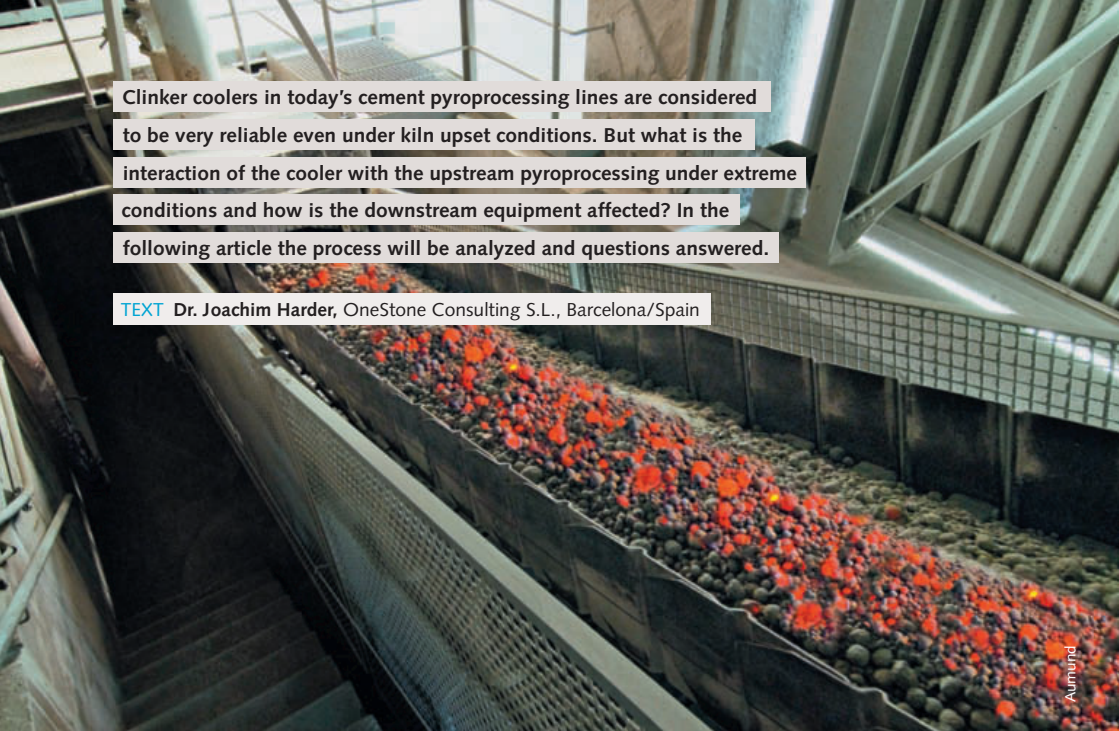
7 Future outlook

As the system is operated now a comparably short period any mainly with a high Hg content in the dust, the main goal is to gain long-term experience about the reduction potential of Hg emissions. Operational testing campaigns are planned to obtain information about the sys-

tem concerning the influence of the temperatures in the system on the mercury evaporation and sorption. Therefore a temperature variation is planned and the test of different sorption materials, such as activated carbon, brominated activated carbon and potential inorganic sorbents.

REFERENCES

- [1] Minamata Convention on Mercury, Annex I, "Resolution on arrangements in the interim period", Nr. 10
- [2] Global Mercury Assessment 2013: Sources, emissions, releases, and environmental transport, United Nations Environment Programme (UNEP), 2013
- [3] Edwards, P.: Global cement emission standards, Global Cement, March 2014, pp. 28–31
- [4] U.S. EPA. Fact sheet, final amendments to national air toxics emission standards and new source performance standards for Portland cement manufacturing, 2010
- [5] German Cement Works Association. Activity report 1999-2001; 2001
- [6] CEMBUREAU, The European Cement association, Best available technologies for the cement industry, 1999
- [7] Zheng, Y.; Jensen, A.D.; Windelin, C.; Jensen, F.: Review of technologies for mercury removal from flue gas from cement production processes, Progress in Energy and Combustion Science 38, 2012, pp. 599–629
- [8] Department of Environmental Quality State of Oregon. Ash grove mercury reduction, advisory committee's report, 2007
- [9] Hills, L.M.; Stevenson, R.W.: Mercury and lead content in raw materials. PCA R&D Serial No. 2888, 2006
- [10] Sprung, S.; Rechenberg, W.: Levels of heavy metals in clinker and cement, Zement-Kalk-Gips, 1998, 47, 183
- [11] Fyttili, D.; Zabaniotou, A.: Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 12, pp. 116–140
- [12] Åmand, L.E.; Leckner, B.: Metal emissions from co-combustion of sewage sludge and coal/wood in fluidized bed, Fuel, 2004, 83, pp. 1803–1821
- [13] Perry, R.H.; Green, D.W.; Maloney, J.O., (editors): Perry's chemical engineers' handbook, 7th ed. The McGraw-Hill Companies Inc., 1997
- [14] Wikipedia. Category: mercury compounds, http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Mercury_compounds
- [15] Sikkema, J.K.: Fate and transport of mercury in Portland cement manufacturing facilities, Graduate Theses and Dissertation, Iowa State University, USA, 2011, Paper 11907



Clinker coolers in today's cement pyroprocessing lines are considered to be very reliable even under kiln upset conditions. But what is the interaction of the cooler with the upstream pyroprocessing under extreme conditions and how is the downstream equipment affected? In the following article the process will be analyzed and questions answered.

TEXT Dr. Joachim Harder, OneStone Consulting S.L., Barcelona/Spain

Hot clinker on a pan conveyor behind the cooler

ONESTONE CONSULTING S.L.

Impact of clinker coolers on downstream equipment

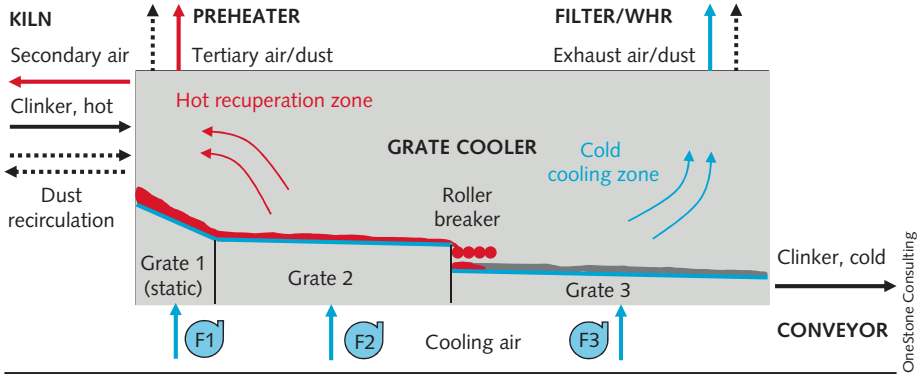
1 Introduction

Modern clinker coolers require 1.7 to 2.0 Nm³/kg_{cl.} of fresh air to cool clinker with temperatures of more than 1400 °C from the rotary kiln to outlet temperatures below 100 °C. Such clinker coolers recuperate most of the thermal energy in the clinker to provide secondary air for the burning process and tertiary air for pre-calcination achieving thermal efficiencies of about 75 % and more. Clinker coolers are also required to buffer kiln fluctuations and have no or only a minor effect on the upstream pyroprocessing system which comprises pre-heater, pre-calciner, kiln and fuel burner. Some people believe this is possible, but the fact is it is not.

Kiln fluctuations cannot be buffered completely, interactions with the kiln system arise and cooler performance and efficiency is constantly changing with the result that clinker end temperatures from the cooler cannot be kept constant.

2 Cooler design and process technology

Today, almost all new coolers are grate coolers, because they can provide the secondary and tertiary air for modern pyroprocessing systems with a high recuperation of the energy from the clinker. Modern clinker coolers of the latest generation are absolutely reliable. The wear of the grate plates is significantly reduced, when compared to former technology. Grate plate life-



1 Scheme of a grate cooler

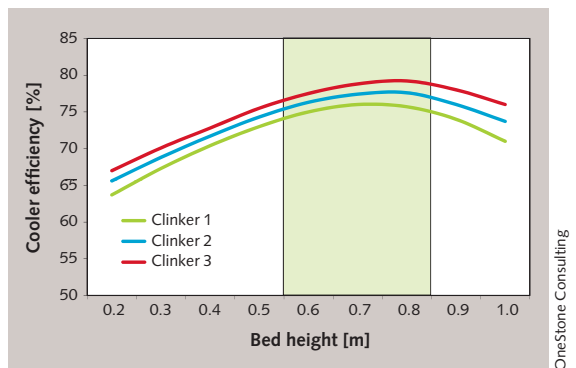
times of more than three years are achieved. The coolers have no or a minimum of grate riddlings. The coolers are built in modular design with throughputs of 1000 to more than 12000 t/d [1].

Figure 1 shows a schematic view of a modern grate cooler with three separate grates and an intermediate roller breaker as well as the major boundary conditions. Input mass flows are the clinker and clinker dust recirculating from the kiln and the cooling air, which is provided via sectional aeration chambers with separate fans. The output consists of the cold clinker, dust containing secondary, tertiary and exhaust air and dust recirculating to the kiln. The cooling air is supplied in a cross-stream to the clinker. The residence time for the clinker in the cooler under normal conditions is between 20–40 min depending on the design, clinker bed height and transport velocity of the clinker.

The cooling effect of the clinker is mainly affected by the clinker bed height in the cooler and the air distribution into the clinker. For each clinker quality there is an optimum average bed height, where the cooler efficiency is maximized (Fig. 2). The operating range of modern clinker coolers is with bed heights of 0.6 to 0.8 (0.9) m. If the bed heights are lower, than the residence time of

the clinker in the cooler is too short to achieve sufficient heat exchange from the clinker to the cooling air. If the bed height is too high, then air blows through the clinker with insufficient distribution being achieved. Clinker bed heights vary from the cooler inlet to the outlet. On grate 1 the height mainly depends on the inclination of the grate, while on grate 2 and 3 it depends on the grate speed (stroke length and frequency of the clinker transport mechanism).

Principally, there are three different versions for modern cooler design. All versions have in common, a static first grate with no movable grates or clinker transport devices. The static grate was first introduced by IKN in 1984 as KIDS-System (Fig. 3), using a new type of grate



2 Cooler efficiency as a function of bed height



IKN

3 Static cooler grate

plate (IKN Coanda effect lamellar grate plate), which ensured improved cooling of the upper surface of the grate plate and improved transport of the fines to the bed surface in combination with grate rows connected to separately aerated air-beams. The systems have been modified by

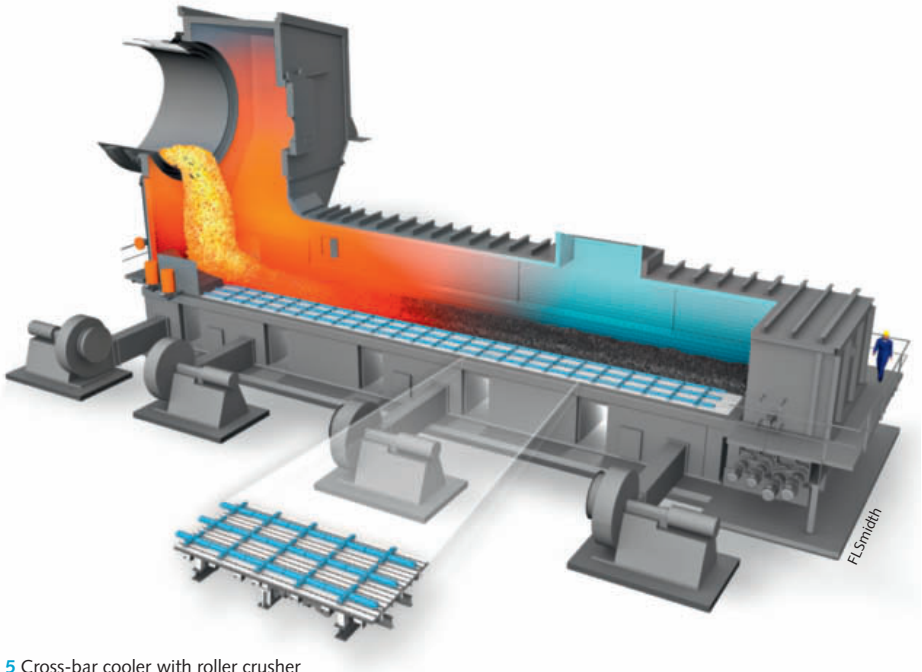
other suppliers to improve clinker distribution and to eliminate “so-called” snowmen by air pulses. The fixed grate stabilizes cooler operations and results in heat savings of 20–100 kcal/kg_{cl}. Favorable grate plate arrangements of the static grate are according to the horse show or V-shaped design to narrow fine and coarse clinker from the kiln at the landing area on the grate and to allow a uniform clinker distribution at the cooler inlet.

The most common modern cooler design is the one with movable grate plates. While conventional designs with reciprocating grates have almost disappeared from the market, pendulum suspension designs are also well accepted. Such designs are provided by IKN and CemProTec. “Pendulum” coolers are designed as single grate with a roller crusher at the end or double grates with intermediate crushing. The movable frame is suspended on a wear-free pendulum suspension consisting of spring steel strands vertically supported on steel or concrete pillars (Fig. 4).



IKN

4 Erection of a Pendulum cooler



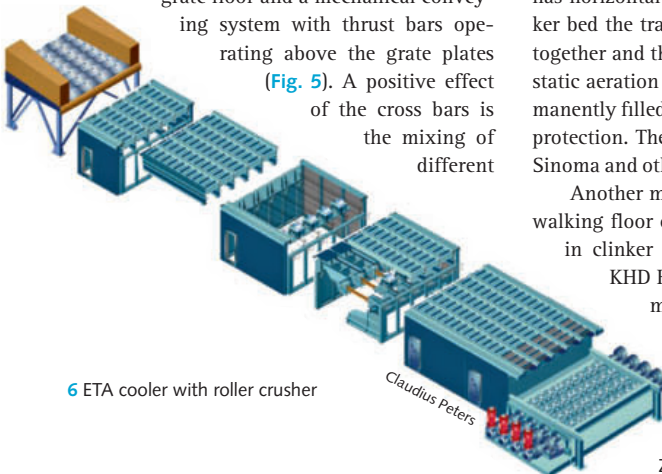
5 Cross-bar cooler with roller crusher

The movable frame is guided in longitudinal direction so that the system does not require any lubrication and is completely wear and maintenance free. For the grate riddlings hoppers with extraction conveyors are provided.

In 1997, FLSmidth introduced the Cross-Bar cooler, which is characterized by a static grate floor and a mechanical conveying system with thrust bars operating above the grate plates (Fig. 5). A positive effect of the cross bars is the mixing of different

clinker sections. However, because the cross-bars move in the clinker they have a limited lifetime. The grate plates are horizontal to save height and no grate riddlings can occur. A similar system with transport tracks instead of cross-bars has been introduced by ThyssenKrupp Industrial Solutions with the Polytrack cooler, which also has horizontal grate plates. To convey the clinker bed the transport tracks are moved forward together and then individually moved back. The static aeration units build an aeration floor permanently filled with clinker for autogenous wear protection. The design principle is also used by Sinoma and other Chinese grate cooler suppliers.

Another mechanical transport system is the walking floor or shuttle principle which is used in clinker coolers by Claudius Peters (CP), KHD Humboldt Wedag, Fons and Sinoma (TCDRI), who licensed the Fons Technology. CP introduced the system under the synonym ETA-cooler in 2004 in a



6 ETA cooler with roller crusher



ThyssenKrupp Industrial Solutions

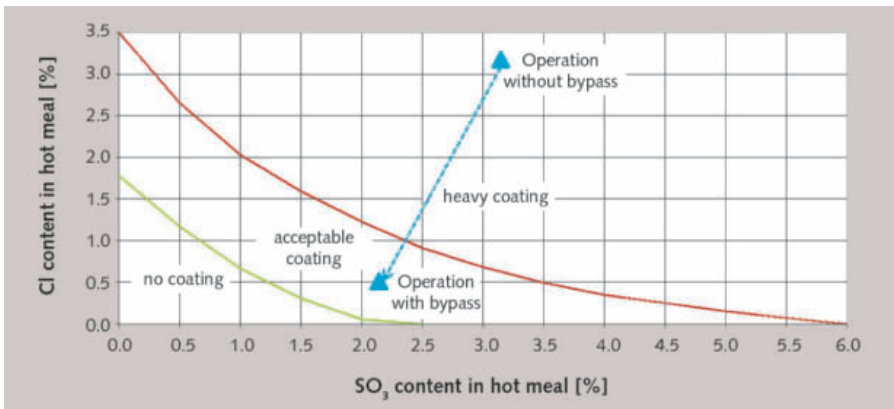
7 Intermediate roller crusher

Roller crushers have become standard technology for reducing oversized clinker due to a high crushing performance, minimum dust generation and wear and no refractory damage when compared to conventional hammer crushers. The roller crusher (Fig. 7) consists of air-cooled, hydraulically or mechanically driven rollers, whose operating width completely matches the width of the cooler grate. Roller crushers offer the most benefit, when they are arranged at the end of the recuperation zone after the second grate. Due to the roller design, large lumps of up to two meters can be crushed and the crushed clinker can be effectively cooled on the final grate. If roller crushers are installed at the end of the cooler, then un-cooled hot spots of crushed clinker have to be conveyed by the downstream equipment.

cement plant in Switzerland [2]. The ETA-cooler is completely modularized (Fig. 6), in which two different modules for the lower section of the cooler can be combined to achieve cooler capacities of 1000 to 10000 t/d. The walking floor system achieves a longer stroke length and lower stroke frequency which has a positive effect on clinker bed height formation and mechanical wear. Furthermore the grate plate design provides autogenous surface protection. With ETA-coolers only about 7% of the grate area has a steel/clinker contact.

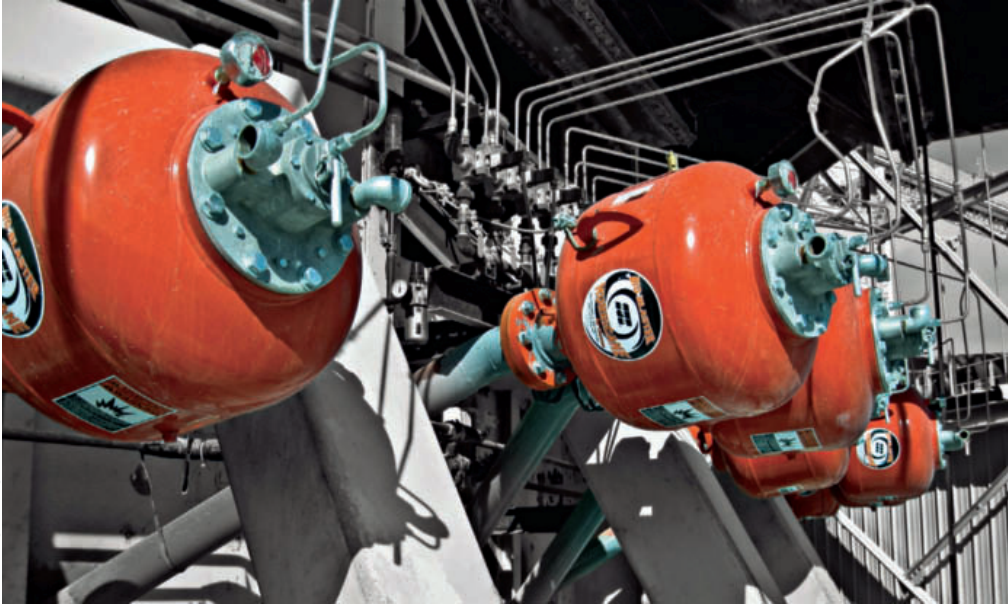
3 Fluctuations in clinker input and the cooler interaction

Kiln upset conditions have always been an important topic in the cement industry even with conventional fuels such as oil, gas and coal. With the increased usage of alternative fuels and the related problems of build-ups of chlorine, sulfur and alkali contents in the pre-heater/kiln system, material accumulation, clogging and unstable kiln operation is more frequent and more severe than ever before. On the other hand



8 Coating conditions and reduction measure

A TEC



9 Air cannons at a preheater

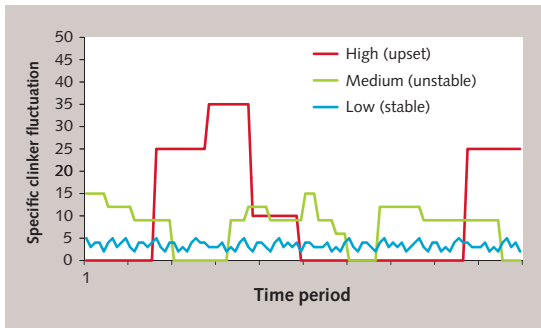
it cannot be denied that with advanced process control, kiln monitoring and inlet gas analysis kiln cycling problems have been improved. But the problems still exist and even with modern control systems stable kiln operation can not be guaranteed.

Problems start with the hot meal in the pre-heater. Chlorine and sulfur containing compounds mainly coming from the fuels are converted to HCl and SO_x upon combustion. Both compounds are very reactive with a strong affinity to alkali elements. The compounds mainly condense on the incoming raw meal and are circulated back to the kiln zone where the volatile compounds re-evaporate and are transported back to the pre-heater. This is an equilibrium process which causes the condensation and accumulation of chloride and sulfate salts on the colder walls of the pre-heater cyclones, riser duct and dip tubes. If no measures are taken, the buildups eventually cause cyclone or duct blockages, which can lead to sudden incidents of hot meal flushes in the kiln and clinker cooler.

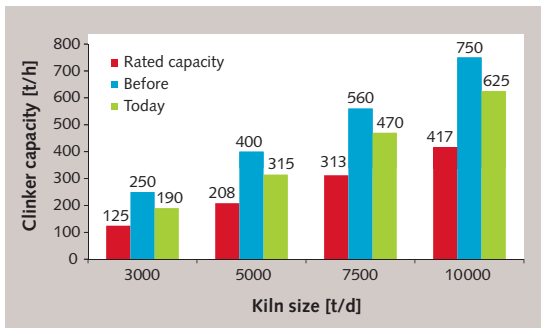
Figure 8 shows tolerable concentrations of the two major compounds chlorine and sulfur and how they can be reduced with bypass systems. There is only a small zone of relatively low chlorine and sulfur content where no coating or encrustation occurs. But with higher volumes the risk of coating increases. If the equilibrium concentrations are too high then a chlorine bypass becomes necessary to reduce the chlorine con-



10 Ring formations within a kiln



11 Clinker fluctuations



12 Dimensioning of clinker conveyors [4]

tent to an acceptable level. If there are restrictions with the chorine bypass, than pre-heater cleaning measures are necessary. It is customary to clean build-up material during operation by using air cannons (Fig. 9), air or water lances, jack hammers etc. Although some plants still use manual techniques to remove buildups in the pre-heater, automated systems with air cannons have become more common.

Coatings on the refractory linings in the kiln itself are considered acceptable, because coatings are needed to safeguard the linings from thermal shocks and the high burning temperatures in the kiln. The formation of stable and desirable coating is dependent on the uniformity of the kiln feed and clinker properties, the refractory lining material and the operating regime in the kiln [3], which is largely affected by the uniformity of the fuel and burning conditions. Any changes in

the kiln feed and fuel delivery rates, burnability of the kiln feed, the combustion of the fuel in the main burner or changes in secondary air for the combustion from the cooler will affect the temperature profile in the kiln and the formation of coatings.

The problem of unstable kiln operations are excessive coating and ring formations within the kiln (Fig. 10), depending on the amount and properties of flux or liquid phases at different points in the kiln. Kiln rings can form in the sintering, calcining and transition zones of the kiln. Depending on their sulfur, carbonate, spurrite or alkali induced origin they may be dense or porous and may develop slowly or in a few hours. If the ring formation is excessive the rings can collapse and can cause a flush of unburnt material into the cooler. Other phenomena are so-called snowballs, which are mostly formed with long and lazy flames that increase the temperature in the kiln and reduce the calcining zone length. Snow balls form in transition zones at temperatures around 1100 °C from low melting sulfites and get agglomerated with raw meal. As the balls reach the burning zone they get balled up with more liquid phases and can even block the kiln.



13 Clinker pan conveyor

The result of unstable pre-heater and kiln conditions are fluctuating clinker inputs into the cooler (Fig. 11). Principally three different fluctuations from low to high can be observed. The low fluctuations are with stable pre-heater and kiln conditions and are easily buffered by the cooler. Coolers with higher clinker retention time might also be able to buffer medium fluctuations resulting from an unstable kiln operation, and which are about three times larger in magnitude than the stable fluctuations. High fluctuations because of kiln upset conditions and the sudden release of blockages in the pre-heater, release of kiln rings and snow balls can be about five to seven times higher in magnitude or more than in stable conditions and cannot be buffered by the cooler.

Clinker fluctuations which are much higher than the rated capacities result in interactions from the clinker cooler to the upstream kiln system and to larger clinker flows and higher clinker end temperatures for the downstream equipment. Pre-heater and kiln upset conditions increase the dust recirculation from the cooler to the kiln, generally increase secondary and tertiary air temperatures and mostly increase the secondary air flow due to increased grate speeds or cooling air volumes from the clinker cooler control. It goes without saying that this will influence the flame formation in the kiln and probably lead to another kiln operation instability necessitating the adjustment of fuel rates, kiln feed, and ID fan speed. It can take hours before new stable conditions are achieved.

For the downstream equipment the rated parameters cannot be met. Under kiln upset conditions clinker conveyors behind the cooler are subjected to much higher clinker temperatures and higher loads. First it is important to understand that rated clinker end temperatures are average clinker temperatures, which are measured for guarantee reasons in a Dewar vessel. While clinker material is colder at the surface, in the core it is still much hotter. If the clinker from a roller crusher or hammer crusher at the end of the cooler is taken then the average temperature of the clinker with so-called hot spots will



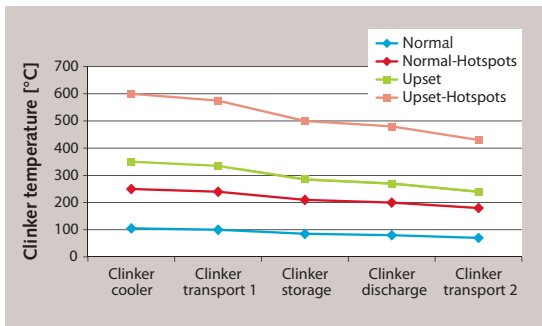
14 Clinker storage discharge

rise from the rated 100 °C to about 250 °C. Under upset conditions the rated average clinker end temperature can increase to about 350 °C, while the hot spot clinker will increase to 600 °C.

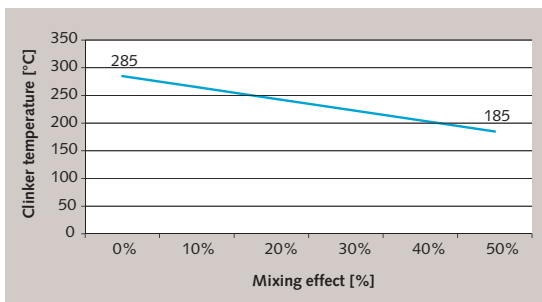
4 Downstream transports and storage

For covering kiln upset conditions, the clinker conveyors behind the cooler have to be designed for higher capacities than the rated kiln capacity. However, modern cooler designs have changed the conveyor dimensions, due to higher buffer capacities in the cooler. Fig. 12 shows the dimensions of clinker conveyors for four different plant sizes from 3000 t/d to 10000 t/d in the past and how they are different today [4]. So, before modern coolers were developed, the dimensions of the clinker conveyors was about 1.8 to 2.0 times the rated kiln capacity, with 250 t/h for 3000 t/d kilns and 750 t/h for 10000 t/d kilns. Modern coolers changed the capacities to 190 t/h for 3000 t/d kilns and 625 t/h for 10000 t/d kilns which is 1.5 times the rated capacity.

Principally, there are three different types of conveyors used for the transport of the clinker from the clinker cooler to the clinker storage facilities. The most used technology is the deep-drawn pan conveyor. Such conveyors (Fig. 13) are available up to 1000 t/h capacity and are safe for temperatures up to 700 °C. These conveyors can be used for conveying up to heights of about 75 m and inclinations of up to 30°. For



15 Downstream clinker temperatures



16 Temperature mixing effect

larger heights of up to 100 m and inclinations of 60° and above pan conveyors with buckets are used. Hybrid pan conveyors of the belt apron type with a temperature resistance of 600 °C design are another option, but they have not achieved a high market penetration yet. High temperature belt conveyors are tested from time to time for the clinker transport behind the cooler, but up to now have not met with any commercial success.

Today, adequate clinker storage capacities are designed to accept a clinker production of two to three weeks to provide enough buffer for unscheduled kiln shutdowns or for annual shutdowns. Safety provisions have been reduced in the last few years due to optimized annual shutdown management and the combination of clinker and cement storage capacities to overcome lengthy periods without clinker production. However, with limited clinker capacities such cases increase, where clinker from the clinker

cooler is conveyed without any buffer time to the cement mills. Consequently the clinker conveyors from the clinker storage silos (Fig. 14) to the cement mills can be subjected to high clinker end temperatures from the cooler.

Figure 15 gives an approximation of typical clinker temperatures from the clinker cooler to the downstream equipment, including the pan conveyor behind the cooler, the clinker storage, clinker discharge from the storage and clinker transport to the mills.

Under normal conditions and clinker end temperatures of 105 °C (85 °C + 20 °C ambient temperature) behind the cooler, the clinker will cool down to about 70 °C. This temperature is not high enough for slag grinding applications, and for such applications, which are in the trend, clinker end temperatures of about 180 to 200 °C behind the cooler are specified. Such temperatures can be achieved when a roller breaker is located at the end of the cooler and hot-spots are taken into account. Problems occur in upset conditions, when clinker temperatures over 350 °C are not decreased by much more than 100 °C during storage and conveying.

One very important aspect is the temperature mixing effect of the clinker storage (Fig. 16). The mixing effect depends on the clinker storage design and how many discharge tunnels are located below the storage and operated simultaneously.

So for example if there is clinker stored with 85 °C temperature in normal conditions and with 285 °C in upset conditions, then with a 50% mixing effect an average clinker temperature of 185 °C will result. Under practical conditions mixing effects of 20-30% are more realistic. Realistic average temperatures from the clinker storage depend on the number of upsets, the frequency of higher clinker end temperatures and

OneStone Consulting

OneStone Consulting

the time period that they are stored. The more upsets recorded the higher the average clinker temperature.

With an, assumed, better performance of modern clinker coolers, belt conveyors are increasingly used to transport the clinker from the clinker storage facilities to the cement mills (Fig. 17), and intermediate silos for the mills. The belt conveyors offer lower installation costs when compared to steel pan conveyors, but the maintenance costs are usually significantly higher, so that life cycle costs mostly favor pan conveyors, especially when the costs for filters in belt conveyor installations are included in the cost comparison. High temperature resistant belt conveyors are constantly improving but cost advantages might come down to zero. There are enough cases where belt conveyors are doing an excellent job, but there are also cases where belt conveyors had to be replaced by conventional pan conveyors.

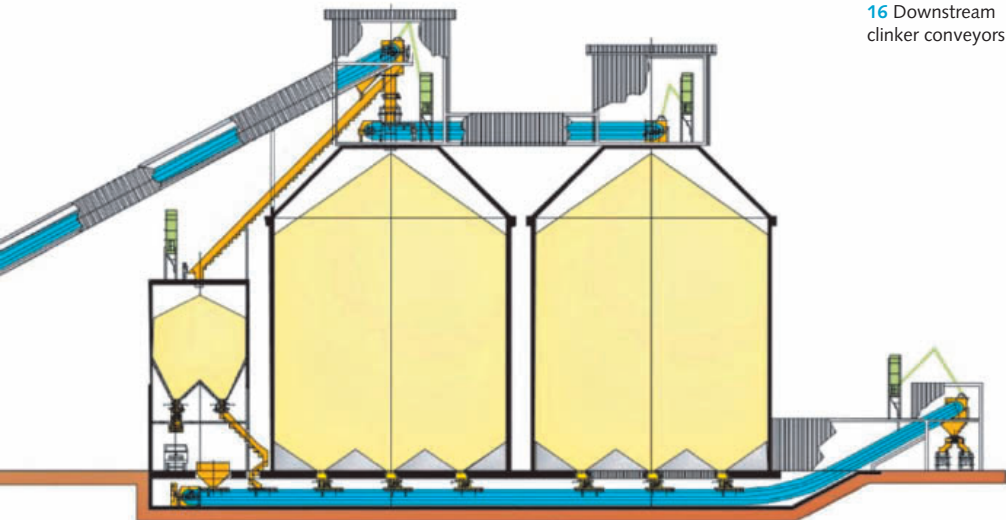
5 Exhaust air and WHR systems

In modern grate coolers with efficiencies of 75% about 45% to 50% of the cooling air is used for combustion (secondary and tertiary air), while

50–55% is exhaust air. So with specific cooling air quantities of 1.7 to 2.0Nm³/kg_{cl.}, about 0.85 to 1.1 Nm³/kg_{cl.} is exhaust air. Under normal conditions the exhaust air has temperatures of 250 ° to 350 °C, which can increase during kiln upset conditions to 400 ° to 500 °C. Normal dust concentrations in the cooler exhaust air are in a range of 30 to 90 g/Nm³, under upset conditions dust concentrations can increase to more than 200 g/Nm³.

Due to higher emission standards, clinker cooler de-dusting systems have changed significantly in the last few years [5]. Instead of electrostatic precipitators bag filters are used nowadays in spite of difficulties with the variable flow rates in normal and upset conditions and the high abrasiveness and loads of the clinker dust. To cope with the clinker cooler exhaust gas conditions, cyclones and air/air heat exchangers are installed upstream of the filters (Fig 18). The cyclones reduce the dust concentrations of up to 75 g/Nm³ by around 70% for the heat exchanger. The heat exchanger cools down the exhaust air to temperatures of below 150 ° and 180 °C, which are acceptable for polyester or Nomex filter bags. To reduce temperature peaks, water spraying

16 Downstream clinker conveyors



Beumer



Scheuch

15 Clinker cooler bag filter

devices or controllable fresh air dampers are frequently installed.

With higher cooler efficiencies the potential for waste heat recovery (WHR) from the clinker cooler decreases. However this offers potential for ORC (Organic Rankine Cycle) and Kalina cycles, where organic working mediums or binary water-ammonia mixtures are used as the working medium instead of water which is used in conventional steam cycles [6]. These working medias have a significantly lower evaporation

point than water, which corresponds to higher vapour pressures and enables a higher degree of efficiency in the lower temperature range of clinker cooler exhaust temperatures below 300 °C, than is possible with water-steam circuits. Consequently the technology is offered by an increasing number of suppliers. With standard containerized WHR plants there is an opportunity to generate about 0.65 to 0.7MW of electricity from 4.5MW of waste heat from the cooler.

6 Outlook

In the last few years rated clinker end temperatures have decreased from 105 °C, to 85 °C and 65 °C (plus ambient temperature). But with an increasing demand for mixed cements and the grinding of slag cements the trend has changed and clinker end temperatures in cooler specifications significantly increased. Cement producers asked the cooler suppliers how the clinker end temperatures could be increased. In some specifications, now clinker end temperatures of 180 ° to 200 °C are required.

With modern clinker coolers there has also been a trend to so-called stripped down equipment solutions. Stripped down means that design capacities of clinker conveyors are reduced to 125% instead of 150% or 200%. Such solutions are usually selected when clinker coolers are upgraded and bottlenecks in the operation of clinker coolers are removed. There is no need for new clinker conveyors to be installed as long as there is a 125% safety margin in the conveyor capacity. Furthermore standby conveyors behind the clinker cooler are no longer foreseen in plant layouts to the extent it was some years before.

REFERENCES

- [1] Harder, J.: Latest Trends in Clinker Cooling. ZKG International 3/2011, pp. 32–42
- [2] Vos, A.: Five Years' Experience with the ETA Cooler. Cement International 2/2009, pp. 62–65
- [3] Clark, M.: More Clinker Ring Issues. ICR 5/2015, pp. 52–54
- [4] Aumund: Clinker Handling, ICR 03/2003, pp. 41–44
- [5] Harder, J.: Process Filter Trends in the Cement Industry. ZKG International 9/2009, pp. 59–72
- [6] Harder, J.: Latest Waste Heat Utilisation Trends in Cement Plants. ZKG International 6/2013, pp. 26–39



Ein Traum ist unerlässlich, wenn man die Zukunft gestalten will.
Dyckerhoff ermöglicht die Umsetzung von Visionen.

Solides Fachwissen, Enthusiasmus und der stete Wille, Gutes noch besser machen zu wollen, sind unser Antrieb und das Fundament unserer internationalen Erfolgsgeschichte. Wir suchen Menschen, die sich dieser Herausforderung stellen und mit uns innovative Wege gehen wollen.

Informationen und Stellenangebote finden Sie auf
www.dyckerhoff.com

Unternehmensportrait AUMUND Fördertechnik GmbH



Gesellschaft	AUMUND Fördertechnik GmbH
Branche	Maschinenbau
Produkte	Förder- und Lagertechnik für heiße und abrasive Schüttgüter
Standorte	Rheinberg sowie Auslandsgesellschaften und Repräsentanzen weltweit
Umsatz	
Mitarbeiter Deutschland Europa weltweit	ca. 320 Deutschland ca. 440 insgesamt (incl. deutsche Gruppe)
Praktika	Möglich nach individueller Absprache
Studien- und Abschlussarbeiten	Möglich nach individueller Absprache
Gesuchte Fachrichtungen	Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen, Verfahrenstechnik
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Direkteinstieg, individuelles Trainee-Programm, Praktika, Bachelor-/Master-Arbeiten
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	Verfahrenstechnik, Vertrieb, Konstruktion
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master
Auslandseinsatz	Möglich nach individueller Absprache (auch im Rahmen von Praktika)
Kontaktadresse	AUMUND Fördertechnik GmbH Abt. Personal Saalhoffer Str. 17 47495 Rheinberg
Ansprechpartner für Studenten	Hannelore Hoffmann/Anna Kaja 02843 720 bewerbung@aumund.de
Ansprechpartner für Absolventen	Hannelore Hoffmann/Anna Kaja 02843 720 bewerbung@aumund.de
Sonstige Informationen	
Homepage	www.aumund.com



Zukunft gestalten – weltweit

Die **AUMUND Gruppe** ist weltweit für anspruchsvolle Lösungen in der Förder- und Lagertechnik bekannt. Wenn höchste Kapazität oder Dauerbelastung, schwieriges Material oder extreme Einsatzbedingungen nach neuen Ideen verlangen, dann blühen unsere Ingenieurinnen und Ingenieure auf.

Als inhabergeführtes, mittelständisch geprägtes, weltweit tätiges Unternehmen bieten wir jungen Leuten vielseitige Perspektiven und eine erfolgreiche Zukunft in **kaufmännischen** und **technischen** Berufen. Wenn Sie sich für **Praktika**, **Bachelor-** bzw. **Masterarbeiten** oder für einen Direkteinstieg interessieren, rufen Sie uns an!

Besuchen Sie uns auf unserer Homepage. Hier finden Sie attraktive Stellenangebote, die Sie interessieren werden. **www.aumund.com**

Weitere Infos erhalten Sie unter Tel. +49 2843 72 230.



Unternehmensportrait BEUMER Group



Muttergesellschaft	BEUMER Group GmbH & Co. KG
Branche	Maschinen- und Anlagenbau
Produkte	Intralogistiksysteme für Schütt- und Stückgüter
Standorte	ca. 29 Standorte weltweit
Umsatz	680 Mio.€ (2014)
Mitarbeiter Deutschland Europa weltweit	957 1991 ca. 4186
Praktika	Angebote für Schüler und Studenten, weitere Informationen hierzu auf unserer Homepage
Studien- und Abschlussarbeiten	Bachelor und Masterarbeiten werden laufend vergeben, weitere Informationen hierzu auf unserer Homepage
Gesuchte Fachrichtungen	Maschinenbau, Elektrotechnik, Wirtschaftsingenieurwesen
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Absolventen, Young Professionals und Professionals
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	Intralogistik, Förder- und Verladetechnik, Automatisierungstechnik
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master
Auslandseinsatz	projektbezogen
Kontaktadresse	Oelder Straße 40, 59269 Beckum
Ansprechpartner für Studenten	Frau Miriam Zirke Tel.: 02521 24216
Ansprechpartner für Absolventen	Frau Miriam Zirke Tel.: 02521 24216
Sonstige Informationen	www.beumergroup.com/karriere
Homepage	www.beumergroup.com

Unternehmensportrait
Dyckerhoff



Muttergesellschaft	Dyckerhoff GmbH (Buzzi Unicem Gruppe)
Branche	Baustoffbranche
Produkte	Zement und Transportbeton
Standorte	Deutschland, Luxemburg, Niederlande, Polen, Tschechische Republik und Slowakei, Ukraine, Russland
Umsatz	1,3 Mrd. Euro
Mitarbeiter	6317
Deutschland	1763 (Dyckerhoff GmbH)
Europa	4554 (Dyckerhoff GmbH)
weltweit	über 10000 (Buzzi Unicem Gruppe)
Praktika	Orientiert am jeweils aktuellen betrieblichen Bedarf
Studien- und Abschlussarbeiten	Orientiert am jeweils aktuellen betrieblichen Bedarf
Gesuchte Fachrichtungen	Verfahrenstechnik/Maschinenbau Elektrotechnik Mineralogie Werkstofftechnik
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	siehe Stellenanzeigen auf unserer Homepage
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	siehe Stellenanzeigen auf unserer Homepage
Einstellung von Bachelor/Master	Master
Auslandseinsatz	–
Kontaktadresse	Dyckerhoff GmbH Zentrale Personalabteilung Biebricher Straße 68 65203 Wiesbaden Vorzugsweise per E-Mail: Bewerbung@Dyckerhoff.com
Ansprechpartner für Studenten	Zentrale Personalabteilung
Ansprechpartner für Absolventen	Zentrale Personalabteilung
Sonstige Informationen	
Homepage	www.dyckerhoff.com

Unternehmensportrait Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG

Muttergesellschaft	Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG
Branche	Maschinen- und Anlagenbau
Produkte	Maschinen zur Kompaktierung, Zerkleinerung und Brikettierung
Standorte	Deutschland, Australien, Canada, China, Venezuela, USA, Indien
Umsatz	Köppern Gruppe 2013: 73 Mio.
Mitarbeiter	
Deutschland	150
Europa	150
weltweit	220
Praktika	Ja
Studien- und Abschlussarbeiten	Ja
Gesuchte Fachrichtungen	Allg. Maschinenbau, Werkstofftechnik, Verfahrenstechnik
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Trainee-Stellen, Konstruktion, Vertrieb, Entwicklung
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	Werkstofftechnik, Verfahrenstechnik
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master
Auslandseinsatz	Ja
Kontaktadresse	Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG Königsteiner Str. 2 45529 Hattingen
Ansprechpartner für Studenten	Herr Daniel Scheiker, HR
Ansprechpartner für Absolventen	Herr Daniel Scheiker, HR
Homepage	www.koeppern-international.com



Ingenieur oder Techniker MSR- / Automatisierungstechnik (m/w)

Köppern ist seit über 115 Jahren international als mittelständische Unternehmensgruppe des Sondermaschinen- und Anlagenbaus erfolgreich. Wir sind einer der weltweiten Markt- und Technologieführer für Walzenpressen und -mühlen. Unser Erfolg beruht auf unserer hohen technischen Kompetenz und Zuverlässigkeit in Verbindung mit einer langfristig verlässlichen und auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Unternehmensstrategie. Unser Hauptsitz befindet sich am Rande des südlichen Ruhrgebietes. Über diverse Tochtergesellschaften sind wir mit den internationalen Märkten weltweit eng verbunden.

Wir suchen an unserem Hauptsitz in Hattingen für den Bereich Elektrokonstruktion einen Mitarbeiter/Ingenieur (m/w) mit einer geeigneten technischen Vorbildung. Berufserfahrungen sind keine notwendige Vorbedingung. Bewerbungen von Absolventen sind gerne willkommen.

Ihre Aufgaben:

- » Planung für Maschinen und Anlagen
- » Auslegung von elektrischen Antrieben
- » Arbeiten mit komplexen Kundenspezifikationen und ausländischen Normen (überwiegend in englischer Sprache)
- » Abstimmung mit Kunden und Lieferanten
- » Inbetriebnahmeunterstützung

Ihr Profil:

- » Abgeschlossenes Ingenieurstudium (Diplom/Bachelor/Master) oder Techniker Ausbildung mit Berufserfahrung
- » Interesse an der Automatisierungstechnik im Maschinen- und Anlagenbau
- » Englisch in Wort und Schrift
- » Reisebereitschaft für Kundenbesuche und Inbetriebnahmeinsätze
- » Teamorientierung und selbstständige Arbeitsweise
- » Hohe Eigenverantwortung und Lernbereitschaft sowie überdurchschnittliches Engagement

Wir bieten Ihnen bei attraktiver Vergütung eine vielseitige Tätigkeit in einem internationalen Unternehmen der Spitzentechnologie. In einer begleiteten Einarbeitungsphase mit Schulungsprogrammen erwerben Sie die notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen unserer Maschinen und Anlagen und entwickeln so Ihre Position im Unternehmen.

Interessiert Sie diese Einstiegsmöglichkeit? Dann richten Sie bitte Ihre schriftliche Bewerbung mit allen aussagekräftigen Unterlagen an unsere Personalabteilung.

Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG • Daniel Scheiker • Personalabteilung
Königsteiner Str. 2 • 45529 Hattingen • +49 (2324) 207 - 221 • d.scheiker@koepfern.de www.koepfern.de

Unternehmensportrait Loesche GmbH



Muttergesellschaft	LOESCHE GmbH
Branche	Maschinenbau
Produkte	<p>Seit 1906 baut die Firma Loesche vertikale Wälzmühlen. Die bereits 1928 patentierte Wälzmühlentechnologie wurde ständig weiterentwickelt und ist mittlerweile zu einem Synonym für die Loesche GmbH geworden.</p> <p>Die Kernkompetenz des Unternehmens liegt in der Entwicklung und Konstruktion von individuellen Konzepten für Mahltrocknungsanlagen in der Zement-, Hüttenwerk-, Kraftwerks-, Erz- und Mineralienindustrie. Das Leistungsspektrum reicht von der ersten Planung bis hin zur Inbetriebnahme von kompletten Anlagen mit hohem verfahrenstechnischen Ingenieuranteil. Darüber hinaus bietet Loesche einen breitgefächerten Servicebereich, der sowohl die Wartung, Reparatur, Ersatzteilbeschaffung und Training als auch die Modernisierung von Mahlanlagen umfasst.</p> <p>Loesche bietet zusammen mit der A TEC Holding GmbH als Partner für die Umsetzung von Anlagenoptimierungs- und Umweltschutzprojekten komplette Prozesslösungen an.</p> <p>Als ein weiteres Tätigkeitsgebiet bietet Loesche seit 2012 thermo-prozesstechnische Lösungen mit den dazugehörigen Produkten wie z.B. Industriebrennern und Heißgaserzeugern an.</p>
Standorte	Die Loesche GmbH ist ein unabhängiges Familienunternehmen mit Hauptsitz in Düsseldorf. Sie ist weltweit mit Tochtergesellschaften in den USA, Brasilien, Spanien, Großbritannien, Südafrika, Indien, China, den Vereinigten Arabischen Emiraten und Russland sowie Vertretungen in mehr als 20 Ländern präsent.
Umsatz	
Mitarbeiter Deutschland weltweit	Ca. 330 Ca. 850
Praktika	Ja
Studien- und Abschlussarbeiten	Ja
Gesuchte Fachrichtungen	Verfahrenstechnik, Maschinenbau
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Praktikum, Auszubildende, Trainee, Abschlussarbeiten
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	
Einstellung von Bachelor/Master	Master
Auslandseinsatz	Ja
Kontaktadresse	LOESCHE GmbH Hansaallee 243 D-40549 Düsseldorf Tel.: +49 211 5353-0 Fax: +49 211 5353-500 Email: loesche@loesche.de www.loesche.com
Ansprechpartner	Frau Silke Krebs Herrn Sascha Marx
Homepage	www.loesche.com

Unternehmensportrait Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH



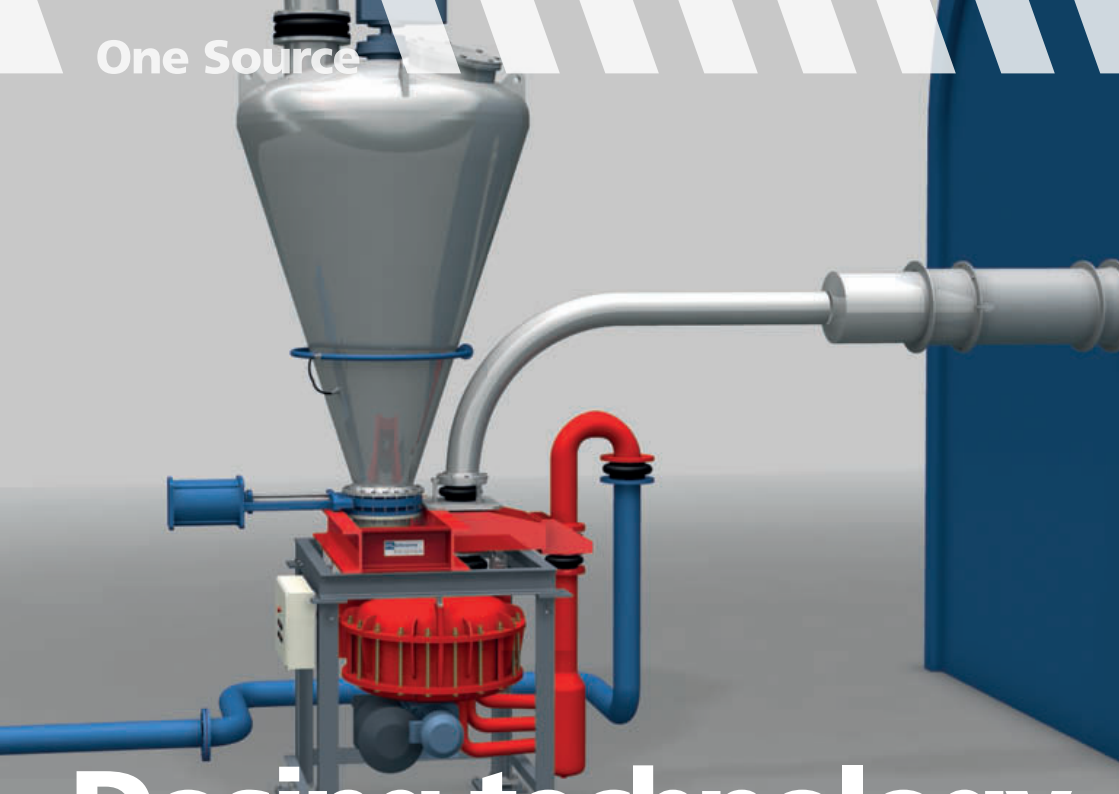
Muttergesellschaft	Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH
Branche	Anlagenbau, Anlagenoptimierung, Komponentenfertigung
Produkte	Mahlanlagen, Kugelmühlen, Siebter, Mühlenwände, Panzerungen, Pulverkühler
Standorte	Deutschland (Zentrale), Österreich (Zweigniederlassung), Ägypten, Bolivien, China, Malaysia, USA, Südafrika
Umsatz	
Mitarbeiter	
Deutschland	85
Europa	100
weltweit	125
Praktika	Ja, auf Anfrage
Studien- und Abschlussarbeiten	Ja, auf Anfrage
Gesuchte Fachrichtungen	Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Konstruktionstechnik, Elektrotechnik
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Verfahrenstechnik, Auftragsabwicklung, Konstruktion
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	Sichere englische Sprachkenntnisse, weitere Sprachen von Vorteil, Reisebereitschaft, Flexibilität
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master
Auslandseinsatz	nach Bedarf und fachlicher Eignung
Kontaktadresse	Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH Sudhoferweg 110-112, 59269 Beckum
Ansprechpartner für Studenten	Marion Vering personalabteilung@christianpfeiffer.de
Ansprechpartner für Absolventen	Marion Vering personalabteilung@christianpfeiffer.de
Sonstige Informationen	
Homepage	Christianpfeiffer.net

Unternehmensportrait FLSmidth Pfister GmbH



Muttergesellschaft	FLSmidth Pfister GmbH
Branche	Kontinuierliche Dosier- und Wiegesysteme für die Zement-, Minerals- und Stahlindustrie, kohlebefeuerte Kraftwerke
Produkte	Dosierrotorwaagen, Dosierbandwaagen, kontinuierliche Wiegetechnik, Plattenbandwagen
Standorte	Augsburg Deutschland, Bethlehem USA, Kuala Lumpur Malaysia, Votorantim Brasilien, Lyon Frankreich, Qingdao China, Mumbai Indien
Umsatz	nicht veröffentlicht
Mitarbeiter Deutschland Europa weltweit	117 500
Praktika	Laufend
Studien- und Abschlussarbeiten	Laufend
Gesuchte Fachrichtungen	Elektrik, Maschinenbau, Mechatronik, Verfahrenstechnik
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Projektierung, Auftragsabwicklung, Entwicklung, Vertrieb, Service
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	Verfahrenstechnik, Englisch, weitere Fremdsprachen wünschenswert
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master, Dipl.-Ing Techniker, Wirtschaftsingenieure
Auslandseinsatz	möglich
Kontaktadresse	FLSmidth Pfister GmbH, Staetzlinger Str. 70, 86165 Augsburg
Ansprechpartner für Studenten	Karin Schweikl, Personalleiterin
Ansprechpartner für Absolventen	Karin Schweikl, Personalleiterin
Sonstige Informationen	
Homepage	www.flsmidthpfister.com

One Source



Dosing technology worldwide

Die Augsburger FLSmidth Pfister GmbH ist spezialisiert auf Wäge- und Dosiertechnologien, die z.B. in der Zement- und Kraftwerksbranche seit Jahrzehnten eingesetzt werden. Unsere Dosierrotorwaagen sind patentiert, mit deren Zuverlässigkeit und Genauigkeit haben wir es zum internationalen Marktführer in Spezialbereichen gebracht.

Unser beständiges Wachstum verdanken wir u.a. unserem engagierten Team, das sich weltweit für uns einsetzt. Junge Mitarbeiter mit Engagement und Ideen sind uns willkommen.

Wir bieten Chancen für:

- Praktikanten
- Werkstudenten
- Diplomanden
- Hochschulabsolventen

Ihre Fragen oder Ihre Bewerbung richten Sie bitte an:

FLSmidth Pfister GmbH | z.H. Frau Schweikl
Stätzlinger Str. 70 | 86165 Augsburg
karin.schweikl@flsmidthpfister.com

www.flsmidthpfister.com

FLSMIDTH
PFISTER

Unternehmensportrait Refratechnik Cement GmbH

REFRA^{TECHNIK}

Muttergesellschaft	Refratechnik Cement GmbH
Branche	Feuerfestprodukte
Produkte	chromerzfreie basische, basische und hochtonerdehaltige Steine, hochtonerdehaltige Schamottesteine, Sondersteine; Engineering- und Serviceleistungen
Standorte	Göttingen, Gochsheim sowie Tochtergesellschaften weltweit
Umsatz	250–300 Mio. €
Mitarbeiter Deutschland Europa weltweit	ca. 400
Praktika	Ja, auf Anfrage
Studien- und Abschlussarbeiten	Ja, auf Anfrage
Gesuchte Fachrichtungen	Mineralogie, Geologie, Ingenieur Glas Keramik Bindemittel, Ing. Maschinenbau oder Verfahrenstechnik
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Vertrieb, Fertigungstechnologie, F&E Direkteinstieg auch ohne Berufserfahrung
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	Englisch, weitere Sprachen, Mobilität
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master
Auslandseinsatz	projektbezogen weltweit möglich
Kontaktadresse	Refratechnik Cement GmbH Rudolf-Winkel-Straße 1 37079 Göttingen
Ansprechpartner für Studenten	Dorothea Tacke personal@refra.com
Ansprechpartner für Absolventen	s.o.
Sonstige Informationen	
Homepage	www.refra.com



DISCOVER...

... HOW TO **BOOST YOUR THERMAL
SUBSTITUTION RATE AND PRODUCT
QUALITY** SIMPLY BY INSTALLING
THE BEST BURNER SYSTEM.

// **ZKG INTERNATIONAL** PROVIDES THE CRUCIAL
INFORMATION YOU NEED TO MAKE YOUR PROCESS
MORE EFFICIENT AND COST EFFECTIVE.

ORDER NOW!

WWW.ZKG.DE/ORDER

OR CALL US +49 5241 80-90884

OR SEND US A FAX +49 5241 80-690880

ZKG
INTERNATIONAL

Unternehmensportrait Schenck Process



Muttergesellschaft	Schenck Process Group
Branche	Maschinenbau
Produkte	<ul style="list-style-type: none"> » LinaClass® SLR Brecherentlastungssieb » MULTIBELT® Bandwaage » MoveMaster® Rohrgurtförderer » MULTIDOS® Dosierplattenband und Dosierbandwaage » MULTISTREAM® Durchlaufmessgerät » MULTICOR® S Massendurchflusdosierer » MULTICOR® K und MULTICELL Kohlenstaubdosiersystem » MultiFlex Schneckendosierwaage » Alternative Brennstoffdosierung » IDMS Durchblas-Messerschleuse » IntraBulk® MultiDock/EcoDock Schüttgut-Annahmestation » MechaTron® gravimetrischer Dosierer » FulFiller® W Waggonbeladeanlage » Siloverwägungen » DISOCONT® Tersus Wägeelektronik » Straßenfahrzeugwaage » LOGiQ® Versandautomationssystem
Standorte	30
Umsatz	über 600 Mio. €/2014
Mitarbeiter Deutschland weltweit	500 3000
Praktika	ja
Studien- und Abschlussarbeiten	ja
Gesuchte Fachrichtungen	Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen, Mechatronik, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Wirtschaftswissenschaften
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	–
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	–
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master
Auslandseinsatz	nach Bedarf
Kontaktadresse	Schenck Process GmbH, Pallaswiesenstraße 100, 64293 Darmstadt, Germany T +49 6151-15310, F +49 6151-153166 E-Mail: humanresources@schenckprocess.com
Ansprechpartner für Studenten	Marc Lewis, T +49 6151 15313637 E-Mail: humanresources@schenckprocess.com
Ansprechpartner für Absolventen	www.schenckprocess.com/de/karriere/ansprechpartner
Sonstige Informationen	–
Homepage	www.schenckprocess.de



schenckprocess 

Eine gute Verbindung.

Zement ist nicht gleich Zement – er bestimmt, ob der Beton auch hält. Und wenn Staudämme höchster Beanspruchung standhalten, stecken oft auch wir dahinter. Denn Schenck Process Wäge- und Dosiersysteme sorgen für die perfekte Mischung des Baustoffs und damit für sichere Dämme.

Unsere Technik kommt aber auch zum Einsatz, wenn es darum geht, die richtige Menge Gurken ins Glas zu bringen, das optimale Aluminium für den Formel-1-Motor herzustellen oder Energie hocheffizient und umweltfreundlich zu erzeugen.

Mit 3.000 Mitarbeitern an 34 Standorten ist Schenck Process weltweit führend in allen Bereichen der Mess- und Verfahrenstechnik, im industriellen Wägen, Dosieren, Sieben und Automatisieren. Und das seit über 125 Jahren.

Jetzt erfolgreich ins Berufsleben starten!
Ob Praktikum, Abschlussarbeit, als Werkstudent oder im Direkteinstieg!

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!
Schenck Process GmbH, Human Resources
Pallaswiesenstr. 100, 64293 Darmstadt
T +49 61 51-15 31 10 24
humanresources@schenckprocess.com



Interessante Stellenangebote finden Sie unter www.schenckprocess.de

you can make processes work

