ZKG-Handbuch Zementanlagenbau 2011/2012

Leitfaden für Einsteiger in die Zementindustrie



Spannend und abwechslungsreich

Zement ist ein Baustoff mit einer wirklich langen Geschichte. Doch wer glaubt, dass bereits alles erforscht ist, sich bei der Zementherstellung nichts mehr verändert, der ist schlecht informiert. Herstellungsmethoden und Zusammensetzung dieses hydraulischen Bindemittels haben sich neuentwickelten Technologien und höheren Ansprüchen an die Leistungsfähigkeit des Zements anpassen müssen. Die über Jahrhunderte reichende Entwicklung ging sowohl vom Maschinen- und Anlagenbau als auch von der stofflichen Seite aus – d.h. der chemischen Zusammensetzung des Bindemittels Zements

In der Gegenwart besteht eine der Hauptaufgaben der Forschung und Entwicklung in der Senkung des Energiebedarfs bei der Zementherstellung. Zur Produktion des Zementklinkers, dem Hauptbestandteil des Zements, werden hohe Energiemengen benötigt. Daher wird derzeitig intensiv nach hydraulisch wirksamen Alternativen gesucht, die als Nebenprodukt in anderen Industrien anfallen oder natürlich vorkommen. Viele, erst in den letzten Jahren auf den Markt gekommene Zementsorten, besitzen einen Klinkeranteil weit unter 50%. Bei der jährlich produzierten Menge von 3.3 Mrd. t Zement weltweit, stellen schon kleine Optimierungen im Energiebedarf ein enormes Einsparungspotential auch im Hinblick auf die CO₂-Emissionen dar.

Der Trend der Zementherstellung geht zu immer größeren Anlagen, die größten unter ihnen produzieren bis zu 12 000 t Klinker pro Tag – damit einhergehend ist sowohl in der Zementindustrie als auch im Anlagenbau eine starke Globalisierung in den letzten Jahrzehnten zu beobachten. Absolventen und jungen Berufseinsteigern bietet dieses Arbeitsgebiet nicht nur eine Vielzahl interessanter und hochmoderner Arbeitsplätze im Maschinen- und Anlagenbau, in der Automation, Steuerungs- und Umwelttechnik, Laborautomation oder Qualitätsüberwachung, um einige der wichtigsten Bereiche zu nennen, sondern auch weltweite Einsatzgebiete in Ländern mit starkem Wachstum. Denn wirtschaftliches Wachstum ist auch immer mit einem steigenden Zementverbrauch gekoppelt – für Infrastrukturmaßnahmen, neue Bürogebäude, Straßen, Wohnhäuser. Die Inbetriebnahme neu errichteter Zementanlagen ist eine der spannendsten Einsatzmöglichkeiten für Fachkräfte im Zementanlagenbau.

Im vorliegenden Handbuch sind die vielen Fassetten zum Thema Zementherstellung leicht verständlich und abwechslungsreich dargestellt – und wer sich seine berufliche Zukunft in dieser Industrie vorstellen kann, findet am Ende des Buches alle wichtigen Informationen, um einem potentiellen Arbeitgeber zu kontaktieren. Viel Erfolg dabei und neue Erkenntnisse wünschen

Dr. Petra Strunk Bauverlag BV GmbH

Petra Struck

OneStone Consulting Group GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Bauen Sie mit an der Zukunft: Vorwort von Andreas Kern, Heidelberg Cement AG		
2	Zementindustrie Zahlen und Fakten (Dr. J. Harder)	10	
3	Statements zu Einsatzmöglichkeiten von Dr. D. Rose, FW. Aumund, Dr. R. Festge \dots	12	
4	Der Herstellungsprozess (Dr. J. Harder)	18	
	Übersicht	18	
	Die Rohmaterialgewinnung und -aufbereitung		
	Die Klinkerherstellung		
	Die Zementvermahlung und Sortenherstellung		
	Zementlagerung, Verpackung und Versand	26	
	Automation und Qualitätsüberwachung	28	
	Umwelttechnik und Emissionen	30	
5	Ausgewählte Veröffentlichungen (diverse Autoren)	34	
,	Erfahrungen mit einem ILC-LowNO _x -Calcinator im Zementwerk Lengerich		
	Trends bei Ofensystemen für die Zementindustrie		
	Überwachung und thermische Analyse des Klinkerherstellprozesses	56	
	Rohmaterialaufbereitung Verfahren, Maschinentechnik und Analytik		
	Energieeinsparungen mit Becherwerken bei der Rohmehlaufgabe		
	Betriebserfahrungen mit der ersten LM 56.3+3 in der Türkei		
	Expertensystem zur Optimierung von Zementmühlen		
	Hochleistungsmischwerke in Stahlbauweise		
	Die neue "High-Performance" Packer Generation		
	Trends bei der Stromerzeugung aus Abwärme in Zementanlagen		
	Filteranlagen: Auf der Suche nach dem richtigen Konzept		
6	Unternehmensportraits (Dr. J. Harder, Firmenautoren)	128	
7	Exkursionsbericht: Moderne Zementproduktion mit hoher Substitutionsrate	140	

1 Bauen Sie mit an der Zukunft!

Vorwort von Andreas Kern, Vorstandsmitglied Heidelberg Cement AG

Die Zementindustrie ist eine der wichtigen Grundstoffindustrien, denn sie produziert den Rohstoff für den weltweit gefragten Baustoff Beton. Ohne Beton hätten viele Menschen kein Dach über dem Kopf, ohne ihn gäbe es keine funktionierende, belastbare Infrastruktur, die wiederum die Basis für die Entwicklung und das Wachstum einer Region oder eines Landes ist. Zement wird weltweit gebraucht - das gilt für die Industrieländer ebenso wie für die sich rasant entwickelnden Schwellenländer. Zement ist aber auch ein spannendes Produkt, das sich immer wieder an neue Anforderungen anpassen muss. Die Zementindustrie ist eine High-Tech-Industrie, die große Summen in ihre Maschinen und Anlagen investiert. Hier findet sich Schwermaschinenbau ebenso wie Feinmechanik, Hydraulik und Elektrik – das alles integriert in hochkomplexe Prozess- und Anlagentechnik. Wer als Ingenieur in die Zementindustrie



Andreas Kern

kommt, den erwarten spannende Herausforderungen in einem dynamischen Umfeld.

Was vielen vielleicht gar nicht richtig bekannt ist: Der faszinierende "Klebstoff" Zement hat eine lange und wirklich erstaunliche Geschichte. Erste hydraulisch erhärtende Mörtel wurden bereits um 1000 v. Chr. von phönizischen Baumeistern verwandt, die gebrannten Kalk mit gemahlenen Ziegeln oder vulkanischen Aschen vermischten. Der Name "Zement" geht auf die Römer zurück, die seit dem dritten Jahrhundert v. Chr. Bauwerke aus einem Gemisch von Bruchstein, Puzzolan- und Ziegelmehl sowie gebranntem Kalk errichteten und mit dem "opus caementitium" eine frühe, technisch anspruchsvolle Betonbauweise entwickelten. Die Kuppel des 120 n. Chr. errichteten Pantheon in Rom erreichte beispielsweise bereits eine Spannweite von mehr als 43 m, die erst im Jahr 1911 von der Jahrhunderthalle in Breslau – einer modernen Betonschalenkonstruktion – übertroffen wurde.

Bis ins 19. Jahrhundert wurden Bindemittel verwendet, die durch den Zusatz von Puzzolanen hydraulische Eigenschaften aufwiesen. Damals wurden noch keine besonderen Anforderungen an die Festigkeit gestellt. Erst fortschreitende Erkenntnisse auf dem Gebiet der Eisen- und Stahlherstellung, die den Einsatz des neuen Werkstoffs für biege- und druckbeanspruchte Bauteile ermöglichten, führten dann zur Entwicklung des uns heute bekannten Baustoffs Beton. Damit einhergehend wurde die Entwicklung hydraulischer Bindemittel und deren kontinuierliche Verbesserung in Bezug auf Wasserbeständigkeit, Erhärtungsverlauf und Endfestigkeit vorangetrieben. Der Entwicklung innovativer Zemente und Betone sind bis heute keine Grenzen gesetzt. Für das moderne, nachhaltige Bauen sind zementgebundene Baustoffe unverzichtbar.

Die Zementhersteller optimieren ihre Produkte kontinuierlich. In den letzten Jahren lag das Augenmerk der Forschungs- und Entwicklungsabteilungen in den Unternehmen auf der Herstellung von Zementen, die einen Beitrag zur Schonung der Umwelt leisten können. Da die

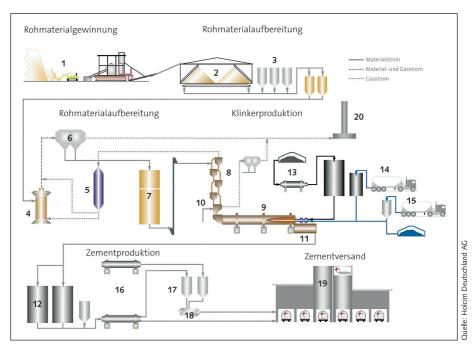
Herstellung des Klinkers hohe Energiemengen verbraucht, wird vor allem hier nach Alternativen gesucht. Ein Beispiel sind die zahlreichen neuen, klinkerärmeren Zementsorten, bei denen der Klinkeranteil im Zement teilweise auf deutlich unter 70 % reduziert wurde. Diese sogenannten Kompositzemente ersetzen mehr und mehr die klassischen Portlandzemente. Ihr Vorteil für die Umwelt: Der Strom- und Energieverbrauch pro Tonne produziertem Zement wird durch die Verringerung des Klinkereinsatzes signifikant gesenkt. Dies unterstützt zugleich auch die Bestrebungen der Zementindustrie, die sich selbst zur Senkung ihrer CO_2 -Emissionen verpflichtet hat. Auch die Einführung von flugaschehaltigen Zementen ist ein weiterer aktiver Beitrag zur Schonung der Umwelt, denn hierdurch werden primäre Rohstoffe ersetzt. Das alles stellt natürlich auch immer wieder Herausforderungen an den Anlagenbau und die Prozesse in einem Zementwerk, die entsprechend dieser Entwicklungen optimiert werden müssen.

Die hohe Relevanz von Ressourcenschonung und Emissionsminderung aus Kosten- wie aus Umweltgründen wird auch in Zukunft die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Unternehmen prägen. Hierbei gewinnen in der Zementherstellung neben Hüttensand weitere Zumahlstoffe wie Flugasche, Kalkstein und Puzzolane an Bedeutung – ein Feld, das noch eine Menge an Optimierungspotenzialen ermöglicht. Daneben bleibt natürlich auch die Entwicklung weiterer kunden- und anwendungsorientierter Spezialprodukte ein vorrangiges Ziel.

Nicht nur die Produkte, sondern auch die Maschinen und Anlagen der Zementindustrie unterliegen einem ständigen Innovationsprozess. Durch die vielfältigen Aufgabenstellungen, die sich durch die Forschungs- und Entwicklungsfortschritte sowie durch das schnelle internationale Wachstum und die kontinuierliche Weiterentwicklung der Unternehmen ergeben, bieten sich in der Zementindustrie unter anderem für Verfahrens-/Chemieingenieure, Bergbau und Steine/Erden-Ingenieure und Maschinenbau-/Elektroingenieure interessante Karrieremöglichkeiten – auch im internationalen Umfeld. Die Industrie bietet hervorragende Perspektiven für junge Fachkräfte, die sich Herausforderungen stellen wollen und Wert auf ein hohes Maß an Eigenverantwortung legen. Es ist tatsächlich so: Wer einmal in der Zementindustrie gearbeitet hat, den lässt das graue Pulver so schnell nicht mehr los!



4 Der Herstellungsprozess



1 Fließbild eines Zementwerkes

- 1 Steinbruch, Brecher
- 2 Mischbetten
- 3 Zuschlagstoffe
- 4 Rohmaterialvermahlung
- 5 Abgas-Konditionierung
- 6 Prozessfilter
- 7 Homogenisiersilos
- 8 Zyklonvorwärmer9 Ofensystem
- 10 Calzinator
- 11 Klinkerkühler
- 12 Klinkerlager
- 13 Kohlevermahlung
- 14 Kunststoffschnitzel15 Klärschlamm
- 16 Zementvermahlung
- 17 Zumahlstoffe
- 18 Zementmischer
- 20 Kamin

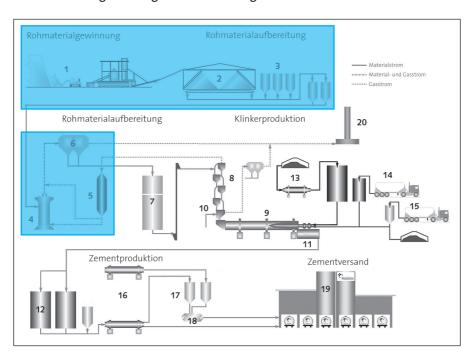
Übersicht

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, Zwischenund 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 Drehrohrofen) auf Temperaturen von über 1000°C auf-

geheizt 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 außbereitet. Daran schließt sich die Calzinierung der Rohmaterialen mit der Klinkerproduktion an. Im dritten Schritt wird der Klinker mit anderen Zumahlstoffen 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). Teil-

weise werden auch mobile Brechanlagen 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.

Der Herstellungsprozess

Zementwerke sind praktisch immer in der Nähe der Rohmaterialvorkommen angesiedelt. 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 vergleichmä-Bigt (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 mehlfeine Vermahlung der Ausgangstoffe 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



2 Kalksteinabbau für ein Zementwerk

bei der Vermahlung auch eine Trocknung erforderlich, wozu heiße Abgase aus dem Prozess (5) verwendet werden können. Für die Vermahlung sind Vertikalmühlen (4) (Bild 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.



3 Rundmischbett für Rohmaterial



4 Vertikalmühle (Bau) zur Rohmaterialvermahlung



1 Ofenlinie 8 des Zementswerks Lengerich

Erfahrungen mit einem ILC-LowNO_x-Calcinator im Zementwerk Lengerich

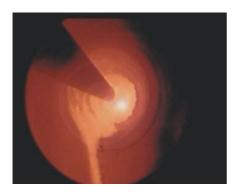
Karl-Heinz Kasch, Lengerich; Kent Thomsen, Kopenhagen/Dänemark aus ZKG 04/2003

Zusammenfassung: Es werden erste Betriebserfahrungen mit der neuen Ofenlinie 8 im Werk Lengerich der Dyckerhoff Zement GmbH beschrieben. Die Ofenlinie liefert eine Klinkerproduktion von ca. 3750 t/d bei einem Wärmeverbrauch von unter 3100 kJ/kg Klinker. Das Ofensystem verfügt über einen ILC-Low NO_x-Calcinator zur Stickoxidminderung. Die wichtigsten Betriebsdaten mit dem Calcinator werden präsentiert und hinsichtlich der NOx-Emissionen analysiert. Dabei zeigt sich, dass in Abhängigkeit von der Tertiärluftmenge Emissionen von nur 330 mg NO₂/Nm³ bei 10 Vol.-% O₂ erreicht werden können.

1 Einleitung

Die neue Ofenlinie 8 der Dyckerhoff Zement GmbH ging in Oktober 2001 nach zweijähriger Bauzeit in Betrieb (Bild 1). Die Ofenlinie wurde für eine Klinkerleistung von 3700 t/d konzipiert, um die drei vorhandenen Lepolöfen am Standort Lengerich zu er-

setzen. Mit der Anlage sollte zum einen der Energieverbrauch für die Klinkerproduktion und zum anderen die Umweltemissionen durch einen niedrigeren Energieverbrauch und eine verbesserte Technik erheblich gesenkt werden.



2 Blick auf die Brennerlanze

Die Hauptkomponenten des Ofensystems sind ein sechsstufiger, zweisträngiger Niedrig-NO_x-Calcinator, ein Rotax 2-Stützen-Drehofen mit 4,6 m Durchmesser und 58 m Länge und ein moderner IKN-Klinkerkühler. Bild 2 zeigt einen Blick auf die Brennerlanze und den drehenden Ofen kurz nach der Inbetriebnahme Ende 2001

Die wesentlichen Betriebsdaten des Ofensystems (Tabelle 1) wurden vom VDZ durch Betriebsmessungen ermittelt. Die maximale Klinkerproduktion von 3750 t/d liegt etwas über den garantierten 3700 Tagestonnen. Der spezifische Wärmeenergiebedarf des gesamten Ofensystems liegt mit 3044 kJ/kg Klinker etwa 1 % unter dem Garantiewert und

der spezifische Elektroenergiebedarf summiert sich auf 6,9 kWh/t Klinker für Ofenhauptantrieb und Abgasgebläse, wobei der Druckverlust mittels LP-Zyklonen über den gesamten Wärmetauscher mit 51 mbar den Garantiewert sicher einhält.

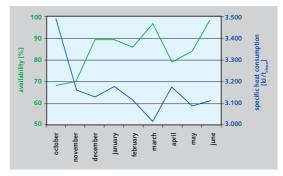
Insgesamt arbeitet die Ofenlinie zuverlässig und die Anlagenverfügbarkeit hat sich seit der Inbetriebnahme stetig verbessert. In den Anfangsmonaten hatte der Ofen nur eine Laufzeit von 70 %. Inzwischen werden die gewünschten 90 % be-

Tab. 1: VDZ-Messungen (Ofenbilanzierung)

Ofen	Garantie	Ist	%
Klinkerproduktion [t/d]	> 3700	3750	+ 1
Staubgehalt WT-Abgas [g/m³]	< 100	70	- 30
Druckverlust über WT [mbar]	< 65	51	- 22
Spez. Wärmever- brauch [kJ/kg _{Kli}]	< 3056	3044	- 1
Spez. Stromverbrauch [kWh/t_{Kli}]	< 7,3	6,9	- 5

reits vollständig erreicht. Der spezifische Wärmeverbrauch wurde dementsprechend von 3500 kJ/kg Klinker während des weiteren Anlagenbetriebes kontinuierlich auf ca. 3000–3100 kJ/kg Klinker verringert (Bild 3).

Im Abgaskamin nach Gasreinigung sind die Emissionen von Staub, organischen Kohlenwasserstoffen und SO₂ alle unter 50 % der gesetzlich vorgeschrieben Grenzwerte. Der Reingasstaubgehalt liegt bei 5 mg/Nm³ (Tabelle 2), die Emission an organischen Kohlenwasserstoffen beträgt 11 mg/Nm³ und der SO₂-Gehalt liegt bei 91 mg/Nm³. Während der Messungen lag der NO_x-Gehalt durchschnittlich bei 439 mg/Nm³ als NO₂, ebenfalls deutlich niedriger als der Grenzwert von 500 mg/Nm³. Das NO_x-Niveau ist dabei abhängig von der Betriebsweise des Calcinators, die nachfolgend näher analysiert wird.



3 Verfügbarkeit und Wärmeverbrauch der Ofenlinie 8 in 2001/2002

Tab. 2: Ergebnisse der Emissionsmessungen durch VDZ

Emissionen (TMW)	Garantie	Ist	%
Reingasstaubgehalt [mg/Nm³]	< 20	5	- 75
S Org. Kohlenstoff [mg/Nm³]	< 30	11	- 63
Schwefeloxide als SO ₂ [mg/Nm ³]	< 400	91	- 67
Stickstoffoxide als NO ₂ [mg/Nm³]	< 500	439	- 12

2 Der ILC-LowNO_v-Calcinator

Bei dem LowNO_x-ILC-Verfahren handelt es sich um einen sogenannten Inline-Calzinator, der direkt vor dem Ofen geschaltet ist und vom gesamten Ofenabgas und der Tertiärluft des Klinkerkühlers durchströmt wird.

Der Calcinator ist in zwei Zonen unterteilt (Bild 4). Die Reduktionszone ist rot gekennzeichnet, die Oxidationszone blau. Heißes Gas aus dem Drehofen strömt von unten in den reduzierenden Bereich ein, wo der gesamte Brennstoff (Braunkohle) der Calzinatorfeuerung und 15–25% des in Zyklonstufe 5 abgeschiedenen Rohmehles zugegeben werden. Durch die Zugabe des Rohmehls werden stark reduzierende Bedingungen (Sauerstoffunterschuss) geschaffen und gleichzeitig die Temperatur kontrolliert. Beide Effekte führen

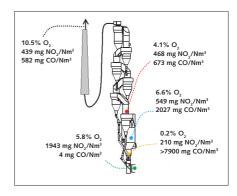
temperature for controlling the calciner coal feed oxidation zone tertiary air inlet reduction zone

4 Schematische Darstellung des Calcinators

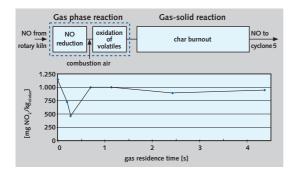
zu einem Abbau des am Drehofenbrenner gebildeten NO_v.

Nach einer Gasverweilzeit von ca. 0,3 s werden im oberen Teil des Calcinators die Tertiärluft und das Restmehl der Zyklonstufe 5 zugeführt. Die sauerstoffreiche Tertiärluft wird nach und nach mit dem brennstoffreichen Gas aus der Reduktionszone vermischt, wodurch die notwendige Energie zur Entsäuerung des Rohmehls bei gleichzeitig geringer NO_x-Neubildung bereitgestellt wird. Am Kopf des Calcinators wird anschließend das entsäuerte Material in zwei Zyklonen der Zyklonstufe 6 aus dem Gasstrom abgeschieden. Die Brennstoffaufgabe der Calzinatorfeuerung wird über die Gastemperatur am Einlauf in die Zyklone geregelt.

Bei der während der Messungen im Februar 2002 eingestellten Gastemperatur von 880–890°C wurde das im Kalkstein gebundene Kohlendioxid zu 96 % ausgetrieben. Durch Bestimmung des Anteiles organischer Verbindungen im abgeschiedenen Rohmehl der Zyklonstufe 6 ergibt sich ein Ausbrand des Calcinatorbrennstoffs von über 99%, d.h. die gesamte im Calcinator eingetragene Energie dient der Entsäuerung des Rohmaterials. Der Staubgehalt im Abgas des Vorwärmers vor dem Filter liegt durchschnittlich bei 70 g/Nm³.



5 NO_x und CO-Gehalte (bei 10% O_2) sowie Sauerstoffgehalt



6 NO_x profile as a function of the residence time in the calciner

3 Emissionsmessungen und NO_x-Bildungsmechanismen

Bild 5 zeigt die Stickoxid-, Kohlenmonoxidund Sauerstoff-Konzentrationen an verschiedenen Stellen im Ofensystem. Alle Werte für Stickoxid (NO₂) und Kohlenmonoxid (CO) sind dabei auf 10 Vol.-% O₂ bezogen, um Verdünnungseffekte auszuschließen und alle Werte direkt miteinander vergleichen zu können. Das Ofenabgas hat einen Sauerstoffgehalt von 5,8%. Während der Sauerstoffgehalt in der Reduktionszone des Calcinators 0,2% beträgt, wird durch die Tertiärluftbeimischung in der Oxidationszone ein Wert von 6,6% erreicht. Nach dem Kamin ergibt sich ein Sauerstoffgehalt von 10,5 %.

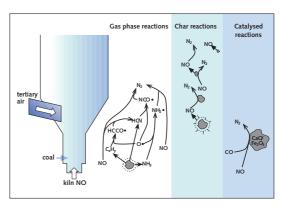
Bild 6 stellt ein gemessenes Profil für den NO2-Massenstrom im Calcinator dar und verdeutlicht die wesentlichen Reaktionsfolgen zum Abbau und zur Bildung vom Stickoxid. Der NO_x-Massenstrom wird dabei in mg NO2/kg Klinker erfasst, um Verdünnungseffekte zu beseitigen und direkt deutlich zu machen. an welchen Stellen im Calcinator NO_x gebildet oder abgebaut wird. Durch die Brennstoffzugabe wird der NOx-Gehalt überwiegend durch sehr schnelle Gasphasenreaktionen drastisch gesenkt. Im Bereich der Tertiärlufteinleitung oxidieren die

flüchtigen Bestandteile des Brennstoffs spontan, wodurch in geringem Umfang neues NO_x gebildet wird. Die weniger flüchtigen Komponenten der Braunkohle verbrennen im übrigen Bereich des Calcinators langsamer, jedoch ohne signifikante Änderung der NO_x-Konzentration.

Die Hauptreaktionen zur Bildung und zum Abbau von NO_x im Calcinator sind in **Bild 7** schematisch dargestellt. Es können drei Hauptreaktionsmechanismen unterschieden

werden: eine Gasphasenreaktion, eine Brennstoffreaktion und eine katalytische Reaktion. Diese Reaktionen finden in der Reduktionszone und in einem kleinen Bereich nach Tertiärlufteintritt statt.

Im unteren Bereich der Reduktionszone treten Ofen- NO_x und Brennstoff- NO_x ein. Unmittelbar nach Eintritt in die Reduktionszone wird die Braunkohle verschwelt, wodurch die flüchtigen Bestandteile freigesetzt werden und der schwerflüchtige Koks (jeweils 50%) zurückbleiben. Die freigesetzten flüchtigen Bestandteile, die im Wesentlichen aus Kohlenwasserstoffen bestehen und Stickstoff in Form von HCN und NH_3 enthalten, reagieren



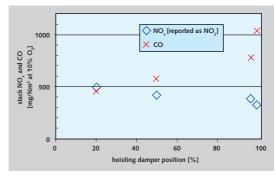
7 Hauptreaktionen der NOx-Bildung und des -Abbaus im Calcinator

spontan durch sehr schnelle Kettenreaktionen von Radikalen, durch die sowohl NO_x gebildet als auch abgebaut wird.

Außerdem wird NO_x in der Reduktionszone durch Reaktionen von NO mit CO zu N₂ reduziert. Diese Rohmehl-katalysierte NO-Reduktion tritt aber nur in der Reduktionszone auf, da sie in Anwesenheit von O₂ gehemmt wird. Die Brennstoffreaktionen unterscheiden sich sehr stark von den Gas-

phasenreaktionen, da sie sehr langsam ablaufen und nahezu in der gesamten Oxidationszone stattfinden. Während der Koksverbrennung wird der gebundene Stickstoff (ca. 50% des Gesamteintrages durch den Brennstoff) zu NO umgewandelt, während gleichzeitig NO_x auf der Feststoffoberfläche zersetzt wird. In Summe führt der Brennstoffausbrand nur zu einer leichten Erhöhung der NO_x-Konzentration.

Die Stellung des Tertiärluftschiebers bzw. die Tertiärluftmenge beeinflusst die NO_x-und CO-Emissionen des Ofens (Bild 8). Das niedrigste NO_x-Niveau am Kamin von 330 mg/Nm³ bei 10 Vol.-% O₂ wird erzielt, wenn der Tertiärluftschieber zu 100% geöffnet ist, was gleichzeitig dem kleinstmöglichen O₂-Gehalt im Ofeneinlauf (Eintritt Ofengas in die Reduktionszone des Calcinators) entspricht. Demgegenüber ist die CO-Emission jedoch niedriger, wenn der Tertiärluftschieber teilweise geschlossen wird. Das heißt, dass eine



6 Einfluss der Tertiärluftschieberstellung auf die NO_x-Emissionen

minimale NO_x-Emission nur zu Lasten einer erhöhten CO-Emission erreicht werden kann, solange keine zusätzlichen Maßnahmen zur CO-Minderung ergriffen werden.

4 Schlussbemerkungen

Nach etwa einem Jahr Betriebszeit liegen eine Reihe von Betriebserfahrungen mit dem ILC LowNO,-Calcinator der Ofenlinie 8 in Lengerich vor. Die Anlage arbeitet insgesamt mit einer hohen Verfügbarkeit gut. Der sechsstufige Vorwärmer führt zu dem gewünschten niedrigen Wärmeverbrauch des Ofensystems. Die Stickstoffemissionen liegen sicher unter dem Grenzwert von 500 mg NO₂/Nm³ bei 10 Vol.-% O2, wobei durch gezielte Fahrweise ein Wert von nur 330 mg NO₂/Nm³ bei 10 Vol.-% O2 erreicht werden kann. Dies geht jedoch zu Lasten einer leicht erhöhten CO-Emission. Durch Öffnen des Tertiärluftschiebers wird die NO-Emission gesenkt, während die CO-Emission zunimmt.

Unternehmensportrait HeidelbergCement AG

HEIDELBERGCEMENT

Muttergesellschaft	HeidelbergCement AG
Branche	Baustoffherstellung
Produkte	Zement, Beton, Sand und Kies
Standorte	Deutschlandweit, weltweit in über 40 Ländern
Umsatz	11,8 Mrd. EUR in 2010
Mitarbeiter Deutschland Europa weltweit	ca. 4.000 ca. 53.000
Praktika	Vor- und Grundpraktika, studentische Praktika
Studien- und Abschlussarbeiten	Generell nach Anfrage möglich
Gesuchte Fachrichtungen	Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Bauingenieurwesen, Rohstoffingenieurwesen, Mineralogie, Betriebswirtschaft, Wirtschaftsingenieurwesen
Einstiegs- und Einsatzmöglichkeiten	Traineeprogramme für die Bereiche Technik, Vertrieb, Einkauf und Human Resources
Erwünschte Zusatzqualifikationen/ Vertiefungsrichtung	Auslandserfahrung und gute Englischkenntnisse
Einstellung von Bachelor/Master	Bachelor und Master
Auslandseinsatz	Auslandspraktika, Auslandsmodul im Traineeprogramm
Kontaktadresse	HeidelbergCement AG, Berliner Str. 6, 69120 Heidelberg
Ansprechpartner für Studenten	Marion Kinscher
Ansprechpartner für Absolventen	Marion Kinscher
Sonstige Informationen	www.heidelbergcement.de/karriere
Homepage	www.heidelbergcement.de

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

