

Moderne Zementwerke und strategische Ansätze zur Aufbereitung von Ersatzbrennstoffen

– Eine aktuelle Bestandsaufnahme –

Hubert Baier und Michael Horix

1.	Optimierte Brennersysteme und Aufbereitungsaufwand.....	862
2.	Nutzung alternativer Brennstoffe im Kalzinator.....	866
3.	Nutzung grobstückiger Brennstoffe im Kalzinator.....	867
4.	Modernisierung.....	868
5.	Zusammenfassung.....	868
6.	Literaturnachweis.....	869

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 siebziger Jahren, wird nach brauchbaren Brennstoffalternativen gesucht, deren Suche ihren Höhepunkt mit der Umsetzung der TASI fand. Dabei war die Zementindustrie mit ihrem 2.000 °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 usw. aufbereiteten. Sogar die Umweltministerien riefen die Zementindustrie an, als sie zur schnellen Umsetzung des Verfütterungsverbot 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 normengrechtes Bindemittel ist, das sogar im Trinkwasserbereich eingesetzt wird, und die Nutzung alternativer Brennstoffe weder die Umwelt, Mitarbeiter oder gar Anwohner 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 auf 54 Standorten von 7371 direkt Beschäftigten 25,245 Millionen Tonnen Zement in 22 Unternehmen produziert. Der thermische Energiebedarf lag bei etwa 2.867 kJ/kg Zement und der elektrische Bedarf ist, aufgrund des Betriebs von vielerlei umwelttechnischen Zusatzanlagen, über 10 %, auf 110,8 kWh/t Zement angestiegen. Diese Investitionen sind noch wirtschaftlich – allerdings ist der Trend nicht mehr aufzuhalten, sich im globalen Wettbewerb auch nach günstigeren Produktionsstandorten umzuschauen.

Einem nicht-konzerngebunden/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 und der langfristige Zugriff auf geeignete Abfallströme sowie fachkundige Aufbereitung sind daher Grundvoraussetzung.

Neben der Änderung der Klinkermineralogie (Belit-reich) mit geringerem Brennstoffbedarf und CO₂-Emissionen oder der Umstellung auf Mühlensysteme mit geringerem Strombedarf (VRM) bleibt bei wechselndem und unstemtem 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 mehlfeine Kalkstein 90 % und sämtliche Brennstoffe 10 % des gesamten Massestroms ausmachen.

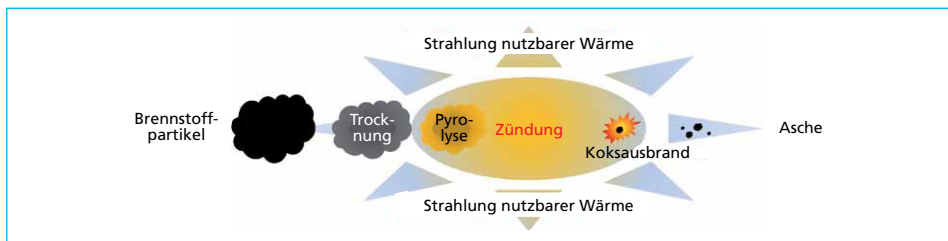


Bild 1: Vereinfachte Sequenz einer diffusionsgesteuerten Umwandlung während der Verbrennung von Brennstoffen: endotherme Trocknung durch Strahlungswärme, Pyrolyse, Zündung und exotherme Verbrennung des Pyrolysegases sowie des Restkokes

Quelle: Baier, H.: Erzeugung von Ersatzbrennstoffen für die deutsche Zementindustrie – Rahmenbedingungen, Herkunft, Aufwand und Realisierung – (Production of secondary fuels for the German cement industry – Basic conditions, origin, expense and implementation). Berliner Energiekonferenz Erneuerbare Energien (Energy Conference Renewable Energies in Berlin) 10 and 11 November 2009 in Berlin, TK Publishing House Neuruppin, 2009, pp. 75-88

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 [4].

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.

Tabelle 1: Parameter deutscher Braunkohlen

Parameter	Einheit	Wert
Heizwert	kJ/kg	21.800
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		
As	ppm	0,2 – 2,5
Be	ppm	0,04 – 0,4
Pb	ppm	< 0,01 – 2,2
Cd	ppm	0,01 – 1,5
Cr	ppm	0,01 – 15
Ni	ppm	1 – 9,3
Hg	ppm	0,11 – 0,9
Tl	ppm	0,027 – 0,2
V	ppm	1 – 13
Zn	ppm	3,9 – 22

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

Tabelle 2: Durchschnittliche Ersatzbrennstoffqualitäten für Hauptbrenner (vorselektierter Industrie- und Gewerbeabfall)

Parameter	Einheit	Wert
Heizwert	kJ/kg	21.800 – 32.200
C ¹	%	n.b.
H	%	n.b.
O	%	n.b.
N	%	n.b.
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		
As	ppm	0,68 – 15,32
Pb	ppm	27 – 4.406
Cd	ppm	0,75 – 162
Cr	ppm	19,10 – 187
Ni	ppm	5,41 – 1.622
Hg	ppm	0,09 – 1,62
Tl	ppm	0,23 – 1,96
V	ppm	2,17 – 164

¹ Durch eine Isotopenbestimmung kann zwischen fossilem und biogenem Kohlenstoff unterschieden werden, was wiederum für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen relevant ist.

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

Tabelle 3: Durchschnittliche Ersatzbrennstoffqualitäten für Hauptbrenner (weiter aufbereitete hochkalorische Fraktion aus Siedlungsabfall)

Parameter	Einheit	Wert
Heizwert	kJ/kg	16.700 – 25.700
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
Spurenelementegehalte		
As	ppm	0,48 – 7,33
Pb	ppm	131 – 30.176
Cd	ppm	2,1 – 55
Cr	ppm	82,73 – 3.029
Ni	ppm	14,19 – 3.658
Hg	ppm	0,28 – 3,39
Tl	ppm	0,18 – 5,90
V	ppm	5,19 – 135

¹ Durch eine Isotopenbestimmung kann zwischen fossilem und biogenem Kohlenstoff unterschieden werden, was wiederum für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen relevant ist.

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

Tabelle 4: Eintragskriterien für Ersatzbrennstoffe zur Nutzung in einem Drehrohrofen nach dem Trockenverfahren mit Vorwärmer und Kalzinator ohne die Grenzwerte der 17. BImSchV zu tagieren

Element (glühverlustfrei)	Einheit	Konzentration
CaO	Gew.-%	einzeln oder gesamt ≥ 50
SiO ₂		
Al ₂ O ₃		
Fe ₂ O ₃		
Quecksilber (Hg)	ppm TS	≤ 2
Cadmium (Cd)	ppm TS	≤ 50
Thallium (Tl)	ppm TS	≤ 45
andere Spurenelemente	ppm TS	≤ 20.000

Die Berechnungen basieren auf der sog. Stoffflussanalyse/NRW.

Quelle: Baier, H.: Ersatzbrennstoffe für den Einsatz in Mitverbrennungsanlagen (Alternative fuels to be used in co-combustion plants). In: Zement-Kalk-Gips International Volume 59, (2006), No. 3, pp. 78-85

Bis zu einer thermischen Substitutionrate (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.

1. 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 günstigen Entsorgungsentgelt sucht, was wiederum im

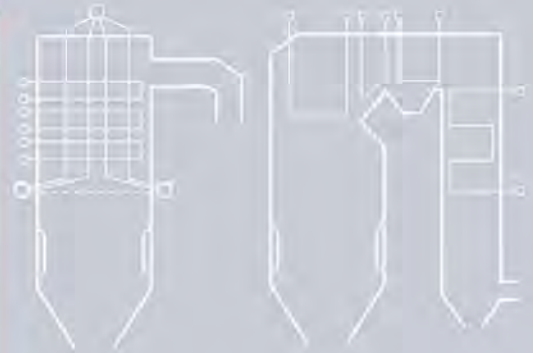
THE TREND IS GREEN



INNOVATIVE ENGINEERING

Ersatzbrennstoffe in Kohlekraftwerken

Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Kohlekraftwerken



Autor: Stephanie Thiel
ISBN: 978-3-935317-29-0
Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky
Erscheinung: 2007
Gebund. Ausgabe: 314 Seiten
Preis: 30,00 EUR

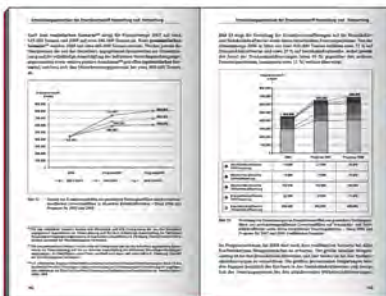
Im Bereich der Kohlekraftwerke bestehen grundsätzlich Potentiale zum Ausbau der Mitverbrennungskapazitäten für Ersatzbrennstoffe und zugleich hohe wirtschaftliche Anreize durch Einsparung von Brennstoffkosten sowie Zuzahlungen der Ersatzbrennstofflieferanten.

Um Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen herzustellen, ist ein enormer aufbereitungstechnischer Aufwand erforderlich. Die Berichte der Kraftwerksbetreiber über Nichteinhaltungen der Spezifikationen machen deutlich, dass hier zum Teil noch erheblicher Optimierungsbedarf besteht.

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Untersuchung der Eignung von Ersatzbrennstoffen aus der mechanisch(-biologischen) Abfallbehandlung zur Mitverbrennung in Kohlekraftwerken aus verfahrenstechnischer, ökologischer und wirtschaftlicher Sicht sowie die Identifizierung der wesentlichen Einflussfaktoren und Optimierungsmöglichkeiten.

Hierzu wird zunächst der Stand der mechanisch(-biologischen) Abfallbehandlung in Deutschland hinsichtlich Anzahl, Kapazität und technischer Ausstattung der Anlagen dargestellt. Daran schließt sich eine detaillierte systemtechnische Analyse der Anlagen im Hinblick auf die Verfahrenskonzepte, verfahrenstechnischen Konfigurationen sowie die erzeugten Outputströme und deren Verbleib an.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die bislang durchgeführten und derzeit vorbereiteten Projekte zur Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus aufbereiteten Siedlungs- und Gewerbeabfällen in deutschen Kohlekraftwerken auf der Grundlage einer Literaturrecherche und der Befragung der Kraftwerksbetreiber untersucht.



Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Sinne des Abfallerzeuger (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, Chlor- und Spurenelementgehalt auch die Partikelgröße als Kriterium festgesetzt hat.

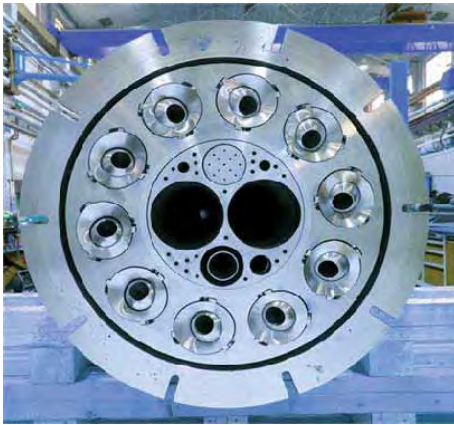


Bild 2: Brennermund eines Sinterzonenbrenners für den Einsatz von festen und flüssigen Ersatzbrennstoffen (hier POLFLAME oder ThyssenKrupp Resource Technologies GmbH)

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 Folgen. 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 [5].

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

Verschiedenste Brennerhersteller bieten inzwischen sog. Low-NO_x- 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 NO_x. Abfallstämmige Ersatzbrennstoffe enthalten in der Regel Restmengen von Wasser, das zur Flammkühlung und damit zur NO_x-Minderung beiträgt, ebenso,

wie stellenweise auftretendes CO in komplexen Reaktionen mit NO_x reagiert und es denaturiert. Der verbleibende NO_x-Rest wird in entsprechenden DeNO_x-Systemen mittels Ammoniak direkt oder in Katalysatoren indirekt reduziert. Aufgrund der verfahrenstechnischen Betriebstemperatur von 2.000 °C sind Grenzwerte von < 0,2 mg/°C NO_x einzuhalten.

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

2. 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 werden. 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 1.000 – 1.200 °C heißen Abgase aus dem Ofeneinlauf mit der 800 – 1.000 °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 sec ausbrennen können, ehe deren Asche im Ofeneinlauf und im Feststoff landet. 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.

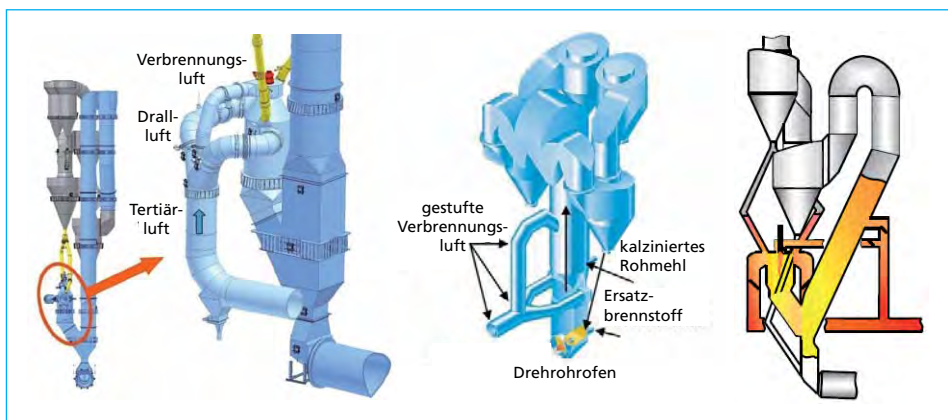


Bild 3: Verschiedenen Konzepte für die Auslegung von Kalzinatoren links; KHD, Mitte FLSmidth und rechts ThyssenKrupp Resource Technologies; sie alle bieten verlängerte Verweil- und Brennzeiten zur Umsetzung grobkörniger Brennstoffe

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

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 etwa 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].

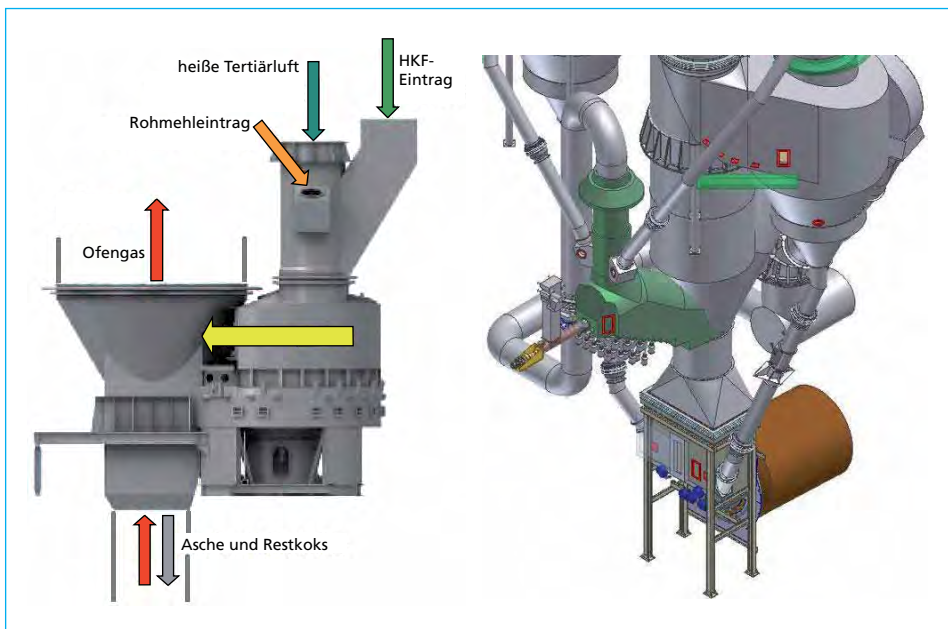


Bild 4: Hot Disc von FLSmidth (links) und PREPOL SC (rechts) von ThyssenKrupp Resource Technologies zum Verbrennen grobstückiger vorbehandelter hochkalorischer Fraktion

4. 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].



Bild 5: Zuleitung von Ammoniakwasser zu einer von vielen SNCR-Düsen zur Entstickung

Quelle: Baier, 2010

Bei der Abwärmerückgewinnung werden etwa 430 °C heiße Ofenabgase über eine Kesselanlage geleitet und der darin erzeugte Dampf einer Turbine zugeführt. Der Generator erzeugt etwa ein Drittel 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 Reingasschal-tung der Anlagen und Nutzungsgrad der

Restwärme in der Mahltrocknung, mittels selektiver nicht-katalytischer Reduktion (SNCR) oder selektiver katalytischer Reduktion (SCR) entstickt 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 Abgaskanal eingedüst, das für die Umwandlungsreaktion der Stickoxyde im Katalysator notwendig ist. Nach Durchströmen des Katalysators wird das Abgas über einen Prozessventilator mit unter 0,1 mg/°C NO_x und nahezu Ammoniak-schlupf-frei zum Kamin geleitet.

5. Zusammenfassung

Globale Schwankungen in den Energiekosten und der international Wettbewerb zwingt die Zementindustrie weiter, ihren gesamten Strom- und Energiebedarf ständig nachzubessern. Durch technische Neuerung und Prozessoptimierung ist sie zum anerkannter Bestandteil einer nachhaltigen Abfallwirtschaft geworden und erreichte 2012 eine thermische Substitutionsrate (TSR) von durchschnittlich 62 % durch den Einsatz aufbereiteter geeigneter Abfälle.

So werden aktuell auf 54 Standorten 25,245 Millionen Tonnen Zement in 22 Unternehmen produziert. Der thermische Energiebedarf lag bei etwa 2.867 kJ/kg Zement und der elektrische Bedarf ist, aufgrund vielerlei umwelttechnischer Zusatzanlagen, auf

110,8 kWh/t Zement angestiegen. Betreiber mit guten langfristigen Standortperspektiven investieren in Abwärmenutzung zur Stromproduktion, Trocknung oder – nach langwieriger Entwicklung – in High- bzw. Low-dust SNCR oder SCR und modernisieren Filter.

Aktuell ist auch wieder ein Trend zur energetisch veränderten Zementklinkermineralogie mit geringerem Brennstoffbedarf und CO₂-Emissionen zu beobachten und die Umstellung auf Mühlensysteme mit geringerem Strombedarf (VRM).

Um die Substitutionsraten weiter erhöhen zu können, werden inzwischen verbesserte Brennstoffqualitäten in der Abfallaufbereitung erzielt, bzw. adaptierte Vielstoffbrenner für den Drehrohfenbetrieb angeboten. Des Weiteren wurden die Verweilzeiten in den sog. Kalzinatoren im Vorwärmerprozess weiter verlängert, so dass inzwischen bis zu 300 mm große Brennstoffstücke angenommen und thermisch behandelt werden können, ehe die Aschen in den bekannten Drehrohfenprozess einmünden.

6. Literaturnachweis

- [1] Baier, H.: Ersatzbrennstoffe für den Einsatz in Mitverbrennungsanlagen (Alternative fuels to be used in co-combustion plants). In: Zement-Kalk-Gips International, Volume 59 (2006), No. 3, pp. 78-85
- [2] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen. September 2003
- [3] Zekowski, J. et al.: Kohlecharakterisierung im Hinblick auf die Verbrennung – Mahlbarkeit, Zündwilligkeit, Reaktivität, Verschlackung (Coal characterisation with regard to the combustion grindability, ignition quality, reactivity, slagging). VGB, TB 240, Essen, 1992
- [4] Brandt, F.: Brennstoffe und Verbrennungsrechnung (Fuels and combustion calculation). FDBR, Fachverband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau e.V., 3rd Edition – Essen: Vulkan, 1999
- [5] Baier, H.: Disruptive substances and the burning behaviour of solid alternative fuels. In: Zement-Kalk-Gips International, Volume 63 (2010), No. 6, pp. 58-67
- [6] Reznichenko, A.: Welcome to a new dimension, Burner Technology, International Cement Review, Tradeship Publications Ltd. Dorking, June 2009, pp. 96-9.
- [7] Baier, H.: Erzeugung von Ersatzbrennstoffen für die deutsche Zementindustrie – Rahmenbedingungen, Herkunft, Aufwand und Realisierung – (Production of secondary fuels for the German cement industry – Basic conditions, origin, expense and implementation). Berliner Energiekonferenz Erneuerbare Energien (Energy Conference Renewable Energies in Berlin) 10 and 11 November 2009 in Berlin, TK Publishing House Neuruppin, 2009, pp. 75-88
- [8] Larsen, Morten, Boberg: Alternative Fuels in Cement Production. Technical University of Denmark, Department of Chemical Engineering, Ph.D. Thesis, DTU, 2007
- [9] Menzel, K.; Maas, U.; Lampe, K.: Technologies for Alternative Fuel Enhancement in Clinker Production Lines, IEEE Cement Industry Technical Conference Record, 2009
- [10] Rohrdorfer Zement: Werksreportage – Innovation aus Tradition. In: Zement-Kalk-Gips International (2013), No. 7-8, pp. 24-31

Waste Management



Waste Management, Volume 1

Publisher: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Luciano Pelloni
 ISBN: 978-3-935317-48-1
 Company: TK Verlag
 Karl Thomé-Kozmiensky
 Released: 2010
 Hardcover: 623 pages
 Language: English, Polish and German
 Price: 35.00 EUR

Waste Management, Volume 2

Publisher: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Luciano Pelloni
 ISBN: 978-3-935317-69-6
 Company: TK Verlag
 Karl Thomé-Kozmiensky
 Release: 2011
 Hardcover: 866 pages, numerous coloured images
 Language: English
 Price: 50.00 EUR

Waste Management, Volume 3

Publisher: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Stephanie Thiel
 ISBN: 978-3-935317-83-2
 Company: TK Verlag
 Karl Thomé-Kozmiensky
 Release: 10. September 2012
 Hardcover: ca. 780 pages, numerous coloured images
 Language: English
 Price: 50.00 EUR

CD Waste Management, Volume 2

Language: English, Polish and German
 ISBN: 978-3-935317-70-2
 Price: 50.00 EUR

CD Waste Management, Volume 3

Language: English
 ISBN: 978-3-935317-84-9
 Price: 50.00 EUR

110.00 EUR

save 125.00 EUR

Package Price

Waste Management, Volume 1 • Waste Management, Volume 2 • CD Waste Management, Volume 2
 Waste Management, Volume 3 • CD Waste Management, Volume 3



Order now on www.vivis.de
 or

Dorfstraße 51
 D-16816 Nietwerder-Neuruppin
 Phone: +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
 E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 11

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014

ISBN 978-3-944310-06-0

ISBN 978-3-944310-06-0 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2014

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Fabian Thiel, Cordula Müller, Ina Böhme,
Janin Burbott

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.