

IGF-Forschungsvorhaben Nr.:	18589 N
Bewilligungszeitraum:	01.07.2016 – 30.06.2018
Forschungsstellen:	Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ)
Forschungsthema:	Erhöhung der Energieeffizienz und Substitutionsrate im Klinkerbrennprozess durch Trocknung und Mahlung von Alternativbrennstoffen

1 Ausgangssituation

Bei der Zementherstellung wird ein wesentlicher Anteil an Brennstoffwärme für das Brennen des Zementklinkers im Drehrohr aufgewendet. Seit den 90er Jahren werden fossile Brennstoffe in der deutschen Zementindustrie in zunehmendem Maße durch alternative Brennstoffe (ABS) substituiert. Deren Anteil am gesamten thermischen Energieeinsatz erreichte im Jahr 2017 durchschnittlich ca. 65 % [VDZ 18]. Zu den gängigen Alternativbrennstoffen zählen neben flüssigen Brennstoffen (z.B. Altöl, Lösungsmittel) und festen grobstückigen Brennstoffen (z.B. Altreifen) vor allem feste aufbereitete Brennstoffe (z.B. Holz- und Kunststoffabfälle, aufbereitete Fraktionen aus Industrie-, Gewerbe- und Siedlungsabfällen, Tiermehl). In hohem Maß werden hoch- und mittelkalorische flugfähige Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen (Fluff) verwendet.

In zunehmendem Maße ist festzustellen, dass auf dem Markt verfügbare Alternativbrennstoffe hinsichtlich ihres Feuchtegehaltes und ihrer Partikelgrößenverteilung mitunter starken Schwankungen ausgesetzt sind. Damit alternative Brennstoffe in der Zementindustrie eingesetzt werden können, müssen sie hinsichtlich ihrer Verbrennungseigenschaften bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllen. Hierzu zählen neben den chemischen Eigenschaften insbesondere ein Mindestheizwert, bzw. ein maximaler Feuchtegehalt, eine ausreichend feine Aufbereitung bzw. ausreichend kleine Partikelgröße. Diese Parameter dürfen zudem keinen allzu großen Schwankungen unterliegen.

Die Verfügbarkeit hochwertiger Brennstoffe mit gleichbleibenden hohem Heizwert und Aufbereitungsgrad bleibt begrenzt. Hingegen sind weniger hochwertige Alternativbrennstoffqualitäten, die einen hohen und gleichzeitig stark schwankenden Feuchtegehalt und/oder einen hohen Anteil grober Partikel aufweisen, auf dem Markt gut verfügbar. Die deutsche Zementindustrie ist bestrebt, den Einsatz dieser weniger hochwertigen Alternativbrennstoffe weiter zu steigern, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen.

Zum einen stellt sich die Frage, welche ABS-Einsatzraten sich erreichen lassen, wenn bestimmte ABS unaufbereitet in den Ofen eingebracht werden. Zum anderen sollte geklärt werden, inwieweit es technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist, diese Brennstoffe vor Aufgabe auf den Ofen durch geeignete externe Trocknung, Zerkleinerung und Homogenisierung vor Ort im Zementwerk aufzubereiten, um höhere Einsatzraten zu erzielen. Das Konzept der Trocknung vor Ort hat den entscheidenden Vorteil, dass dabei Abwärme aus dem Klinkerbrennprozess verwendet werden kann. Somit bestehen Potentiale zu Steigerung der Energieeffizienz.

Für die Umsetzbarkeit der Ergebnisse des Forschungsprojektes war entscheidend, dass die Untersuchungen und daraus abgeleitete Empfehlungen praxisnah erfolgten.

2 Ziele des Forschungsvorhabens

Hauptziel des Forschungsprojektes war es, die Einsatzmöglichkeiten von niederkalorischen und gering aufbereiteten ABS ohne und mit Aufbereitung durch entsprechende Trocknungs- und Mahlanlagen zu untersuchen. Wesentliche Fragestellungen dabei waren, welche ABS-Substitutionsraten sich erreichen lassen, welche Auswirkungen sich auf den Brennstoff- und Strombedarf der Ofenanlagen ergeben und wie der Einsatz von Trocknern/Mahltrocknern wirtschaftlich zu bewerten ist. Nachteilige Auswirkungen auf die Klinkerqualität müssen vermieden werden und wurden deshalb eingehend betrachtet. Weitere Ziele waren, die Wirksamkeit der Trocknungs- bzw. Zerkleinerungsaggregate zu untersuchen und festzustellen, ob ihr Betrieb Auswirkungen auf die Klinkerkapazität und die Emissionen der Ofenanlagen haben kann. Zur Erreichung der Ziele sollten Betriebsmessungen in zwei Zementwerken mit unterschiedlichen Trocknungs- und Mahltrrocknungsanlagen durchgeführt und durch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergänzt werden.

3 Ergebnisse

Einsatz von ABS ohne Aufbereitung (Referenzzustand)

An Ofenanlage A werden - neben dem Einsatz anderer Alternativbrennstoffe - bis zu ca. 3 % der gesamten Feuerungswärmeleistung durch den Einsatz von unaufbereitetem (lediglich mechanisch entwässertem) Klärschlamm im Calcinator abgedeckt. An Ofenanlage B kann unaufbereiteter Fluff (hohe Anteile grober Partikel) in der Hauptfeuerung eingesetzt und damit im üblichen Betrieb bis zu ca. 35 % der gesamten Feuerungswärmeleistung zugeführt werden.

Erhöhung der ABS-Substitutionsrate durch ABS-Aufbereitung

Die Trocknung und Mahlung von Alternativbrennstoffen gelten derzeit noch nicht als allgemeiner Stand der Technik in der Zementindustrie und es existieren in der Praxis bisher erst wenige Anwendungen. **Tabelle 1** gibt eine Übersicht über bereits installierte Anlagen, zu denen öffentliche Informationen vorliegen.

Tabelle 1 In Zementwerken installierte ABS-Trockner/Mahltrrockner *

Typ	Bauart	Alternativbrennstoff	Literaturstelle
Trockner	Bandrockner	Klärschlamm	[TRE 10], [THE 12]
	Trommelrockner	Fluff	[SAV 13]
	Trocknungsrohr/ Flash-Dryer	Fluff	[REI 16], [KKH 16]
Mahltrrockner	Luftwirbelmühle	Fluff	[SCH 12]; [VOG 18]
	Ketten-Mühle	Fluff	[BUZ 13], [KRA 14], [KAS 17], [NEU 16]

* Ergebnisse einer Literaturrecherche mit Stand 2018. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit

Die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass der Einsatz von mechanisch entwässertem Klärschlamm (MEK) an Ofenanlage A durch den Betrieb des Klärschlammtrrockners auf bis zu ca. 12 % der gesamten Feuerungswärmeleis-

tung erhöht werden konnte. Die zusätzliche Inbetriebnahme eines Trockners für den in der Hauptfeuerung eingesetzten Fluff ermöglichte es, an dieser Ofenanlage ganz auf den Einsatz von Kohle zu verzichten und die Alternativbrennstoffrate von 95 % auf 100 % der Feuerungswärmeleistung zu steigern. An Ofenanlage B führte der Betrieb des untersuchten Fluff-Mahlrockners dazu, dass die Substitution von Kohle durch Fluff in der Hauptfeuerung von ca. 35 auf ca. 50 % der Feuerungswärmeleistung erhöht werden konnte. Dies entspräche einer jährlichen Einsparung von ca. 0,9 Mio. € (bei einem Kohlepreis von ca. 100 €/t und einem Fluff-Preis von ca. 20 €/t).

Aufbereitungskosten/Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Kosten für die Aufbereitung des ABS im Zementwerk entstehen durch Investitions- und laufende Kosten für den Betrieb entsprechender Anlagen zur Trocknung/Mahlrocknung. Diese Kosten müssen durch die Einnahmen erwirtschaftet werden, die sich aus den geringeren Brennstoffkosten für die ABS ergeben (gegenüber Braun- bzw. Steinkohle). Hinzu kommen weitere Einnahmen, wenn durch die Substitution der Kohle durch ABS geringere CO₂ – Emissionen entstehen und damit weniger Kosten für Emissionshandels-Zertifikate anfallen.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für einen Fluff-Trockner ergab unter den getroffenen Annahmen (abgeschätzte Investitions- und Betriebskosten), dass sich seine Anschaffung bereits im ersten Jahr rechnen würde, wenn man eine Abschreibungsdauer von 8 Jahren zugrunde legt. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass sich die größten Chancen und Risiken durch die Brennstoffpreise ergeben. Der Preis für CO₂ –Emissionshandelszertifikate ist ebenfalls als relevant anzusehen.

Ein erheblicher Vorteil der Trocknung im Zementwerk besteht darin, dass Abwärme aus dem Klinkerbrennprozess verwendet werden kann. Würde der Fluff in trockenem Zustand angeliefert, wäre eine externe Trocknung beim Brennstofflieferanten erforderlich. Bei Einsatz eines erdgasbefeuerten Trockners wäre dadurch jährlich mit zusätzlichen Brennstoffkosten in der Größenordnung von ca. 250.000 € zu rechnen.

Sicherstellung der Klinkerqualität

Die Untersuchungen der während der Betriebsversuche genommenen Klinkerproben ergaben, dass die Klinkerqualität auch bei erhöhter ABS-Substitutionsrate sichergestellt werden konnte. Die Steigerung des Klärschlammeinsatzes von ca. 3 auf ca. 10 % der gesamten Feuerungswärmeleistung an Ofenanlage A hatte eine Zunahme des Phosphatgehalts im Klinker zur Folge. Aufgrund des unkritisch niedrigen Ausgangsniveaus wirkten sich diese jedoch nicht auf die Phasenzusammensetzung und somit die Klinkerqualität aus. Anzeichen von Schwachbrand waren nicht zu erkennen.

Der Betrieb der Fluff-Mahlrocknung ermöglichte an Ofenanlage B eine Erhöhung der Fluff-Substitutionsrate von ca. 35 auf ca. 50 % der ges. FWL, ohne dass dabei Auswirkungen auf die Klinkereigenschaften festgestellt wurden. Detaillierte Untersuchungen an Fluff-Proben ergaben, dass im Mahlrockner eine Trocknung (um ca. 40 %), eine nachweisbare Zerkleinerung (Anteil Partikel < 2 mm stieg von 14 auf 23 M.-%) und eine Auflockerung (Abnahme der Schüttdichte um 17 %) des Fluffs erfolgte und dies vermutlich zu einer intensiveren Verbrennung des Fluffs in der Flamme der Hauptfeuerung führte. Bei einem Vergleichsversuch, bei

dem die Fluffmahlung nicht betrieben, die Fluffaufgabemenge in der Hauptfeuerung jedoch nicht abgesenkt wurde, wurde ein gesunkenes NO_x -Niveau und ein Anstieg der Temperatur am Ofeneinlauf festgestellt. Dies stützt die geäußerte Vermutung.

In der Mahltrocknungsanlage fand eine effektive Abtrennung von 3D-Partikeln statt (davon ca. 5 M.-% Metalle). Bei dem Vergleichsversuch, bei dem der Fluff der Hauptfeuerung un-aufbereitet aber gleich hoher Substitutionsrate wie bei Betrieb der Mahltrocknung aufgegeben wurde, stiegen die Freikalkgehalte in den Klinkerproben an und die Alitgehalte sanken ab. Beides weist auf eine nachteilige Veränderung der Brennbedingungen hin. Ferner waren bei dieser Versuchseinstellung eindeutige Anzeichen von lokal reduzierenden Brennbedingungen im Klinker zu erkennen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass große Brennstoffpartikel nicht vollständig in der Flamme ausgebrannt sind und in das Klinkerbett fallen. In diesem Zusammenhang fanden sich im Klinker unter dem Mikroskop sichtbare Inhomogenitäten durch kleinräumige, lokale Anreicherung silikatischer oder aluminat-ferritischer Aschepartikel, wodurch es insgesamt zu einer unvollständigeren Verklüftung kam. Der Vergleichsversuch hat gezeigt, dass ohne Betrieb der Mahltrocknungsanlage vermutlich eine weniger intensive Umsetzung in Flamme der Hauptfeuerung erfolgt.

Auswirkungen auf die Produktionskapazität, Emissionen und Gleichmäßigkeit des Ofenbetriebes

Der Betrieb der Fluff-Mahltrocknung hatte einen vergleichsmäßigenden Effekt auf den Ofenbetrieb, so dass die Ofenanlage tendenziell mit höherer Leistung betrieben werden konnte. Für eine Quantifizierung der Kapazitätssteigerung reichen die über zwei Wochen ausgewerteten Daten jedoch nicht aus. Durch den Betrieb der Ofenanlage mit kontinuierlicher Mahltrocknung ergaben sich keine wesentlichen Auswirkungen auf die NO_x -Konzentrationen im Rohgas und auf den SNCR-Reduktionsmittelbedarf.

Die Brüden des Klärschlammrockners wurden zur Nachverbrennung in den Calcinator geleitet und trugen dort auf Grund ihres Ammoniak-Gehaltes zur NO_x -Minderung bei. Der Betrieb des Klärschlammrockners hatte entsprechend eine Verringerung der NO_x -Konzentrationen im Rohgas und einen Minderbedarf an SNCR-Reduktionsmittel zur Folge.

Abwärmenutzung, Energiebedarf der Ofenanlage und der Trockner/Mahltrockner

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Brennstoffeinsätze auf den thermischen Energiebedarf und die Wärmeverluste der Ofenanlage wurde über Betriebsmessungen im Rahmen von Energiebilanzen um die Ofenanlagen ermittelt. An Ofenanlage A wurden signifikante Auswirkungen auf den Rohgasverlust festgestellt (**Tabelle 2**).

Wurde der **Klärschlammrockner** betrieben und der getrocknete Klärschlamm zusätzlich zum mechanisch entwässerten Klärschlamm eingesetzt, stieg der Beitrag des Klärschlammes von ca. 3 auf ca. 10 % der gesamten Feuerungswärmeleistung. Dabei stieg der Rohgasverlust um ca. 180 kJ/kg Klinker gegenüber dem Betrieb ohne Klärschlammrockner. Dies ist auf mehrere Effekte zurückzuführen. Die Abluft/Brüden des Klärschlammrockners werden der Ofenanlage über den Calcinator zur Nachverbrennung wieder zugeführt. Der erhöhte Wassereintrag führte zu einem zusätzlichen Rohgasverlust („VW 1“), der zwar nicht direkt aus Messwerten zu ermitteln aber rechnerisch mit 43 kJ/kg abgeschätzt werden kann. Ein etwa

gleich hoher Rohgasverlust trat dadurch auf, dass der Luftüberschuss im Ofensystem erhöht wurde. Dieser Luftüberschuss kann möglicherweise durch feuerungstechnische Optimierungsanstrengungen zukünftig weiter reduziert werden. Beide Effekte führten zu einer Zunahme des Rohgasvolumenstroms, dieser führte zu höheren Gasgeschwindigkeiten im Vorwärmer, und dies wiederum hatte vermutlich eine Verminderung der Wärmeübertragung und der Staubabscheidung zur Folge. Hierauf deuten zumindest die erhöhten Rohgastemperaturen und Staubgehalte hin. Beides sind vermutlich die Hauptursachen für noch verbleibende Differenzen des Rohgasverlustes (ca. 95 kJ/kg Klinker). Diese teilt sich näherungsweise zu gleichen Teilen auf die Effekte „Wassereintrag“ und „Luftüberschuss“ auf, da beide Volumenströme ähnlich groß sind. Der Gesamt-Effekt „Wassereintrag“ kann somit abgeschätzt werden zu $VW\ 1 + VW\ 2 = 90\ \text{kJ/kg Klinker}$.

Tabelle 2 Übersicht Rohgasparameter, Rohgasverluste, Abwärmenutzung und Strombedarf an Ofenanlage A

	Einheit	Betriebseinstellung (ABS-Einsatz)			
		MEK (Referenz- zustand)	MEK + getr. KS	getr. KS	MEK + getr. KS + getr. Fluff
Klärschlamm (feucht)	% d. ges. FWL	2,8	2,0	0,0	2,4
Klärschlamm (getrocknet)	% d. ges. FWL	-	8,3	7,1	9,8
Rohgasparameter					
Rohgas-Temperatur	°C	380	400	390	400
spezifischer Volumenstrom Rohgas	m ³ /h/kg Kli. (i.N. tr)	1,58	1,65	1,67	1,71
Staubgehalt Rohgas	g/m ³ (i.N. tr)	108	116	116	125
Sauerstoffkonzentration im Rohgas	Vol.-%	3,4	4,0	4,9	5,1
Rohgasverlust	kJ/kg Kli.	1.040	1.220	1.130	
Diff. zum Referenzzustand	kJ/kg Kli.	-	180	90	
durch erhöhten Wassereintrag aus KS ³⁾ (VW 1)	kJ/kg Kli. (Diff. zu R.)		43	-2	
durch erhöhten Luftüberschuss ³⁾ (VL 1)	kJ/kg Kli. (Diff. zu R.)		42	72	
durch Zunahme von Temperatur und Staubgehalt ³⁾ (VW 2 + VL 2)	kJ/kg Kli. (Diff. zu R.)		95	20	
Abwärmenutzung für den Betrieb der Trockner	kJ/kg Kli.		252 ⁴⁾	220 ⁴⁾	27 ⁵⁾
zusätzlicher Strombedarf (Trockner + Ofenanlage)	kWh/t Kli.		5,5 ⁴⁾	4,4 ⁴⁾	0,2 ⁵⁾

1) MEK = mechanisch entwässerter Klärschlamm (ca. 75 % M.-% Restfeuchte; Einsatz ausschließlich im Calcinator)

2) getr. KS = getrockneter Klärschlamm

3) durch Berechnungen abgeschätzte Werte

4) nur Klärschlamm-trockner

5) nur Fluff-Trockner

Die Aufgabe des mechanisch entwässerten Klärschlammes in die Ofenanlage (Referenzzustand) entspricht einer „internen Trocknung“, der Einsatz des getrockneten Klärschlammes (letzte Spalte in Tabelle 2) einer „externen Trocknung“. Da die Brüden des Klärschlamm-trockners allerdings in die Ofenanlage rückgeführt werden, unterscheiden sich beide Fälle nicht hinsichtlich des Wassereintrages und des entsprechenden Rohgasverlustes (VW 1 + VW 2).

Betrachtet man den thermischen Energiebedarf aus „globaler“ Perspektive in einer Gesamtbetrachtung, ergibt sich im Falle der Klärschlamm-trocknung an Ofenanlage A folgendes Bild (**Bild 1**):

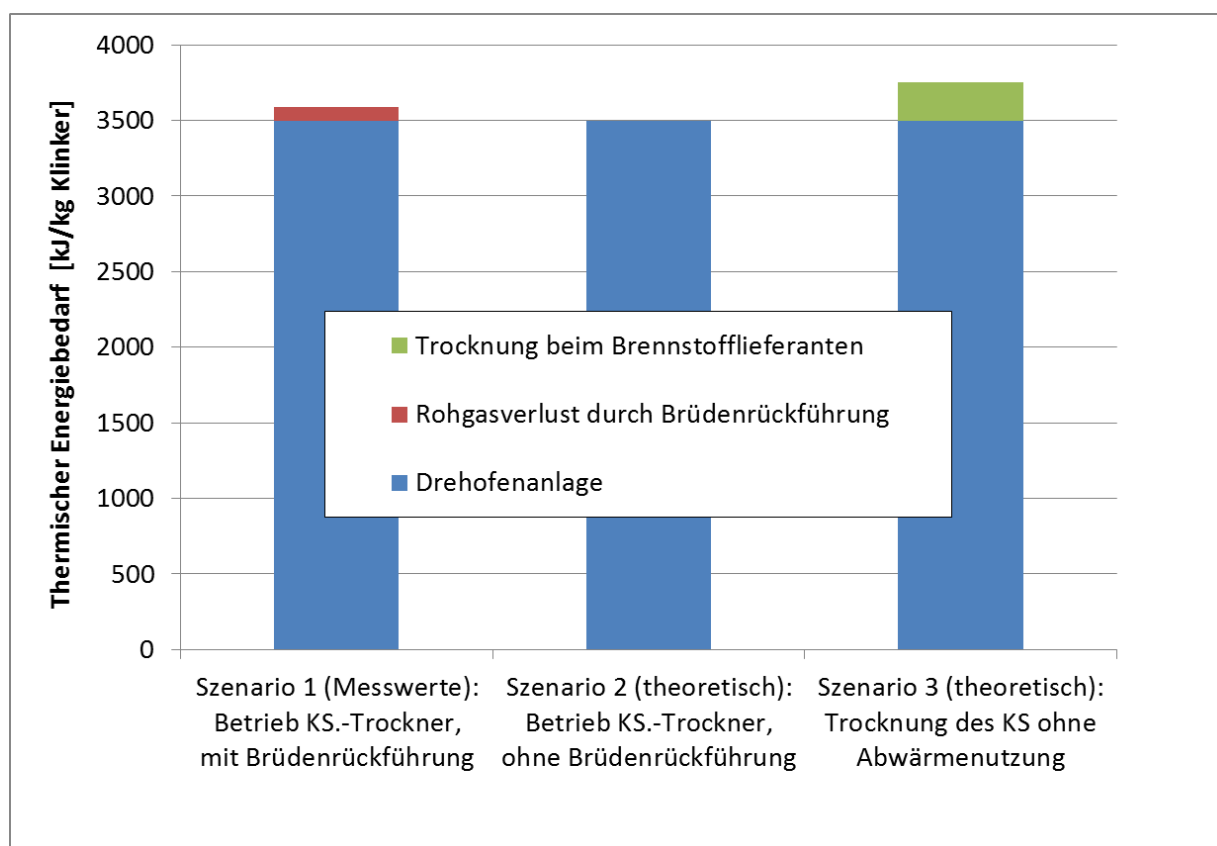


Bild 1 Gesamtbetrachtung thermischer Energiebedarf für unterschiedliche Trockner-Szenarien für Klärschlamm (Ofenanlage A)

Die Rückführung der Brüden (= Wassereintrag) des Klärschlamm-trockners führt zu einer Erhöhung der Rohgasverluste, die durch Erhöhung des Brennstoffenergiebedarfs der Ofenanlage um 90 kJ/kg Klinker aufgefangen werden muss (Szenario 1). Dies ist ein Ergebnis der an Ofenanlage A durchgeführten Energiebilanz. Würden die Brüden nicht nachverbrannt sondern anderweitig behandelt, läge der Brennstoffenergiebedarf theoretisch bei ca. 3.500 kJ/kg Klinker (Szenario 2). Würde die Trocknung des Klärschlammes nicht im Zementwerk erfolgen, wo Abwärme zur Verfügung steht, müsste für die Trocknung ca. 250 kJ/kg Klinker an zusätzlicher Energie z. B. durch den Einsatz fossiler Brennstoffe eingesetzt werden (Szenario 3).

Der Betrieb des **Fluff-Trockners** – also der Einsatz von getrocknetem Fluff statt feuchtem Fluff in der Hauptfeuerung – wurden der Ofenanlage A aus der Kühlerabluft ca. 27 kJ/kg Klinker Enthalpie zur Trocknung ausgekoppelt. Die Auswirkungen des Trockner-Einsatzes auf den Rohgasverlust der Ofenanlage ließ sich auf Grund ungünstiger betriebstechnischer Randbedingungen nicht genau quantifizieren, traten jedoch vermutlich nur in geringer Höhe auf. Dies ist daraus abzuleiten, dass die Feuchte- und Sauerstoff-Gehalte sowie die Temperaturen im Rohgas sich nicht signifikant unterschieden. Lediglich die Staubgehalte im Rohgas lagen etwas erhöht.

Für den Betrieb des **Fluff-Mahlrockners** an Ofenanlage B wurden aus der Kühlerabluft ein Heißgasstrom mit einem Enthalpieinhalt von ca. 9 kJ/kg Klinker entnommen. Der Betrieb hatte keine signifikanten Auswirkungen auf den Rohgasverlust, hatte jedoch einen Anstieg des Kühlerabluftverlustes um 110 kJ/kg Klinker zur Folge (bei gleichem Enthalpieverlust durch den Kaltklinker). In vergleichbarem Maß stieg der Brennstoffenergiebedarf der Ofenanlage an. Sowohl der Kühlerabluftvolumenstrom als auch die Kühlerablufttemperatur erhöhten sich. Als Ursache hierfür ist die Rückführung der Mahlrockner-Abluft zur Nachverbrennung in den Klinkerkühler der Ofenanlage anzusehen. Sie hat vermutlich zur Folge, dass die Effizienz der Wärme-Rekuperation im Klinkerkühler nachlässt.

Ein weiterer Kostenfaktor ist der zusätzliche **Strombedarf**, der bei Betrieb der Trocknungs-/Mahlrocknungsanlagen entsteht. Für den Klärschlammrockner wurde ein Wert von ca. 2,7 kWh/t Klinker ermittelt (ohne Strombedarf der Dickstoffpumpen). Hierzu addierte sich ein zusätzlicher Strombedarf auf Grund erhöhter Abgas-Gebläseleistung (WT), so dass sich ein zusätzlicher Gesamtstrombedarf von 5,5 bzw. 4,4 kWh/t Klinker ergab (mit bzw. ohne Einsatz von mechanisch entwässertem Klärschlamm im Calcinator). Wird der Luftüberschuss in der Ofenanlage zukünftig durch feuerungstechnische Optimierungen minimiert, kann der Strombedarf theoretisch um bis zu ca. 1,5 kWh/t Klinker verringert werden. Der Strombedarf für den Antrieb des Fluff-Mahlrockners und der zugehörigen Zu- und Abluftgebläse betrug ca. 2,5 kWh/t Klinker. Durch die Abluft-Rückführung erhöhte sich der Strombedarf des Kühlerabluftgebläses, da die Kühlerabluftmenge um ca. 10 % anstieg. Insgesamt ergab sich ein zusätzlicher Strombedarf von 3 kWh/ t Klinker für den Ofenbetrieb mit Fluff-Mahlrocknung. Der Strombedarf des Fluff-Trockners war demgegenüber nur gering (0,2 kWh/t Klinker).

„Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht“

4 Literatur

- [BUZ 13] Buzzi, Sandro; From Municipal Solid Waste (MSW) to Energy; Process Technology of Cement Manufacturing : 7th International VDZ Congress; Proceedings, 2013
- [KKH 16] Kasch, K.H; Trocknungsanlage für Sekundärbrennstoffe; Buzzi Unicem Gruppe; Dyckerhoff Polska, Zementwerk Nowiny; Vortrag auf der VDZ- Fachtagung Zement-Verfahrenstechnik 2016
- [KAS 17] Kastner, C.; Uttinger, H.; The A TEC Rocket Mill for maximizing solid alternative fuel firing; Cement International; Jahrgang 15 (2017); Heft-Nr. 4 ; S.52 - 56
- [KRA 14] Krammer, R.; Uttinger J.; Salzer, S.; Processing alternative fuels in a Rocket Mill: First operating experiences; Global Cement Magazine; October 2014
- [NEU 16] Neuwirth T.; Ersatzbrennstoffaufbereitung mit Rocket Mill, Wietersdorf; Vortrag auf der VDZ- Fachtagung Zement-Verfahrenstechnik 2016
- [REI 16] Helmut Reiterer, H.; Kohlmayr, G.; Wratschko, F.; Maximierung der Ersatzbrennstoffrate durch den Einsatz eines Flash Dryers im Lafarge Zementwerk Retznei; Vortrag auf der VDZ- Fachtagung Zement-Verfahrenstechnik 2016
- [SAV 13] Sawecki, J.; Improved RDF Quality and Combustion due to the Drum Drier, Process Technology of Cement Manufacturing : 7th International VDZ Congress; Proceedings, 2013
- [SCH 12] Schwarzer, W.; Mahltrocknung von Fluff in einer Luftwirbelmühle; Vortrag auf der VDZ-Fachtagung Zementverfahrenstechnik 2012
- [THE 12] Theulen, J; HeidelbergCement – Waste processing achievements in Asia; global cement magazine; January 2012; S. 14
- [TRE 10] Trenkwalder, J. ; Waste heat recovery for the drying of sewage sludge; Cement International; Jahrgang 8; 2010; Heft-Nr. 4 ; S.48 - 53
- [VDZ 18] Verein Deutscher Zementwerke (VDZ); Umweltdaten der Deutschen Zementindustrie 2017; Düsseldorf, 2018
- [VOG 18] Voges, U; The V-mill – a new option for producing kiln-ready replacement fuels; Cement International; Jahrgang 16; 2018; Heft-Nr. 3 ; S.44 - 49

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 18589 N der Deutschen Vereinigung für Verbrennungsforschung e.V. (DVV) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.