



Zusammenfassung

Drehofenanlagen der Zementindustrie unterliegen immissionsschutzrechtlich den Bestimmungen der TA Luft. Werden neben fossilen Brennstoffen auch Abfallbrennstoffe (Sekundärbrennstoffe) eingesetzt, so gelten zusätzlich die Bestimmungen der 17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (17. BImSchV). Zur Einhaltung der vorgeschriebenen NO_x Emissionsgrenzwerte müssen effektive und kostengünstige NO_x -Minderungsverfahren erarbeitet werden. Ein vielversprechendes prozessintegriertes Verfahren zur NO_x -Minderung stellt das Verfahren der gestuften Verbrennungsführung im Calcinator dar. Dabei wird in dem zwischen Brenngutvorwärmer und Drehofen installierten Calcinator, in dem primär die Entsäuerung des Kalksteins durchgeführt wird, eine Zone mit Luftmangel eingestellt, in der das im Drehofen gebildete NO teilweise zu molekularem Stickstoff reduziert wird.

Die Betriebserfahrungen mit diesen Anlagen zeigen allerdings, dass sich die theoretisch zu erwartenden NO_x -Minderungsraten häufig nicht erreichen lassen. Zudem kann der Betrieb der gestuften Feuerung in manchen Fällen zu Störungen, Verringerung der Anlagenverfügbarkeit und erhöhten CO-Emissionen führen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden daher unter Berücksichtigung betrieblicher Rahmenbedingungen entsprechende Optimierungsmaßnahmen erarbeitet, die möglichst allgemein bei Vorcalcinieranlagen der Zementindustrie anwendbar sind. Diese berücksichtigten auch den Einsatz von Sekundärbrennstoffen im Calcinator.

Durch grundlegende Untersuchungen wurden zunächst die wichtigsten betrieblichen Einflussgrößen für NO-Bildung und -Abbau im Calcinator ermittelt. Den größten Einfluss haben demnach Luftzahl und Temperatur in der Reduktionszone, die Eigenschaften des Brennstoffes (insbesondere Reaktivität, Flüchtigengehalt und Flugfähigkeit) aber auch die Gasverweilzeit in der Reduktionszone, die NO-Konzentration am Calcinatoreintritt und die Vermischung von Gasstrahlen. Als wichtigste NO-Abbaureaktionen in der gestuften Feuerung sind die NO-Reduktion über NH_2 - und Kohlewasserstoffradikale auszumachen. Dem durch Ofenmehl katalysierten NO-Abbau durch CO kommt in der Praxis eine geringere Bedeutung zu.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse konnten Maßnahmen zur Optimierung der gestuften Feuerung abgeleitet werden. Konkret wurden Untersuchungen für 6 unterschiedliche Ofenanlagen durchgeführt. Durch geeignete Brennstoff-, Mehl- und Tertiärluftzufuhr ist eine optimale Vermischung von Gasstrahlen und damit eine Verbesserung der Verbrennung anzustreben. Um den NO-Abbau im Calcinator zu verbessern, sind eine Absenkung der Luftzahl und eine Erhöhung der Temperatur in der Reduktionszone als geeignete betriebstechnische Maßnahmen anzusehen. Diese Maßnahmen sind dadurch begrenzt, dass bei extremer Anlagenfahrweise Störungen im Ofenbetrieb (erhöhte Schwefelkreisläufe, Ansatzbildung oder Brenngutkugelbildung) auftreten können. Für jede Ofenanlage sind diese Grenzen individuell zu bestimmen. Die optimale Luftzahl in der Reduktionszone liegt niedriger, als bisher angenommen ($< 0,7$). Bei der Einstellung der Luftzahl sollte zudem die Verbrennungskinetik berücksichtigt werden. Insbesondere reaktionsträge Brennstoffe führen in der Reduktionszone zu einer Erhöhung der lokalen Luftzahl, wodurch sich der NO-Abbau verschlechtert. Brennstoffe mit hoher Reaktivität und hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen sind für eine NO_x -Minderung durch gestufte Verbrennung am besten geeignet. Durch eine feinere Aufbereitung des Brennstoffes lässt sich seine Reaktivität erhöhen. Sekundärbrennstoffe eignen sich grundsätzlich sehr gut zum Einsatz im Calcinator. Wenn sie eine höhere Reaktivität als der Primärbrennstoff aufweisen und unter reduzierenden Bedingungen verbrennen, kann eine zusätzliche NO_x -Minderung erzielt werden. Hinsichtlich der Produktqualität ergaben sich keine Auswirkungen der gestuften Feuerung auf die Klinkereigenschaften.

Die Nachrüstung einer bestehenden Anlage mit einem Calcinator ohne signifikante Kapazitätssteigerung allein mit dem Ziel der NO_x -Minderung erwies sich als wenig effizient. Die Kombination von gestufter Verbrennung und SNCR-Verfahrens stellt prinzipiell eine zusätzliche Möglichkeit dar, die NO_x -Minderung bei Vorcalcinieranlagen weiter zu erhöhen. Es ist allerdings festzustellen, dass in diesem Fall die CO-Emissionen bei Einsatz des SNCR-Verfahrens zunehmen können. Hierzu sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

