

Brennstoffwechsel bei Zementdrehrohröfen – Grundlagen und technische Möglichkeiten Teil 2: Technische Möglichkeiten *)

V. J. Turnell, St. Louis, Missouri/USA

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund der steigenden Kosten für flüssige und gasförmige Brennstoffe stellen viele Zementwerke ihre Feuerung auf feste Brennstoffe wie Kohle oder Petrolkoks um und reduzieren dadurch ihre Betriebskosten. Der vorliegende Beitrag diskutiert Gesichtspunkte, die bei einem Brennstoffwechsel beachtet werden müssen. Betrachtet werden die chemischen und physikalischen Eigenschaften fester Brennstoffe, ihre Einflüsse auf den Ofenbetrieb, die Auswahl geeigneter Einrichtungen für die Vermahlung und Verfeuerung sowie Sicherheitsaspekte.

SUMMARY

Due to the increasing costs of liquid and gaseous fuels, many cement plants burning these fuels are converting to solid fuels such as coal and petroleum coke as their main fuel to reduce operating costs. This paper discusses various topics that are important when considering fuel changes. Subjects discussed are: the chemical and physical properties of solid fuels, the impact of solid fuels on kiln operation, the selection of appropriate equipment for grinding and firing the solid fuels, and safety considerations.

RÉSUMÉ

A cause des coûts croissants des combustibles liquides et gazeux, de nombreuses cimenteries permutent leur chauffage sur des combustibles solides, comme le charbon ou le coke de pétrole et réduisent ainsi leurs coûts d'exploitation. La contribution présente discute des points de vue qui doivent être considérés lors d'un changement de combustible. Ainsi, sont considérés les propriétés chimiques et physiques de combustibles solides, leur influence sur la marche du four, le choix d'équipements appropriés pour le broyage et le chauffage et, aussi, les aspects de sécurité.

RESUMEN

Debido al constante aumento del coste de los combustibles líquidos y gaseosos, muchas fábricas de cemento pasan a utilizar combustibles sólidos, tales como carbón y coque de petróleo, reduciendo de esta manera sus gastos de explotación. En el presente trabajo se comentan algunos aspectos que han de tenerse en cuenta al pasar de un combustible a otro. Se consideran las características químicas y físicas de los combustibles sólidos, su influjo sobre la conducción del horno, la elección de equipos adecuados para la molienda y la combustión así como algunos aspectos de seguridad.

Fuel changes in cement kiln applications –

basics and technical possibilities
Part 2: Technical possibilities*)

Changement de combustible dans les fours rotatifs à ciment –

fondements et possibilités techniques
Part 2: Possibilités techniques*)

Cambio de combustibles en los hornos rotatorios de cemento –

fundamentos y posibilidades técnicas
Parte 2: Posibilidades técnicas*)

4. Einfluss des Brennstoffwechsels auf das Ofensystem

In diesem Abschnitt werden Auswirkungen veränderter chemischer Brennstoff- und Verbrennungseigenschaften auf das Ofensystem betrachtet.

4.1 Optimale Verbrennungseigenschaften

Ist ein Brennstoffwechsel geplant, müssen Maßnahmen ergriffen werden, mit deren Hilfe ein optimaler Verbrennungsablauf und ein vollständiger Ausbrand sowohl in der Hauptfeuerung als auch im Calcinator sichergestellt sind. Optimale Verbrennungsbedingungen sind die Voraussetzung für einen niedrigen Wärmeverbrauch und einen maximalen Durchsatz des Ofens. Dafür ist üblicherweise die höchstmögliche Flammentemperatur am günstigsten, wobei aber auch auf hohe Futterstandzeiten und akzeptable Emissionen geachtet werden muss. Ein guter Ausbrand ist nötig, um die CO-Emissionen zu minimieren. Unvollständig umgesetzter

4. Impact of fuel changes on the cement kiln system

This section discusses some of the impact of fuel changes on the cement kiln system caused by a change of the fuel chemical properties and burning characteristics.

4.1 Optimum combustion characteristics

When considering a fuel change, it is important to take steps to maintain optimum combustion characteristics and good fuel burnout in the kiln and calciner. Optimum combustion characteristics in a cement kiln system provide the lowest specific fuel consumption and highest production which occur with the hottest flame possible while maintaining good refractory life and acceptable emission rates. Good fuel burnout is required to minimize CO emissions. Incompletely reacted carbon would create local reducing conditions in the kiln feed and adversely affect the clinker quality.

*) Teil 1/Part 1: ZKG INTERNATIONAL 54 (2001) No. 4, pp. 174–179.

(English text provided by the author)

Kohlenstoff würde im Brenngut zu lokal reduzierenden Bedingungen führen und damit die Klinkerqualität beeinträchtigen.

Für einen optimalen Verbrennungsablauf und ein gutes Ausbrandverhalten ist ein Brennstoffaufbereitungssystem erforderlich, welches in der Lage ist, den Brennstoff auf die erforderliche Feinheit aufzumahlen, ein geeignetes Brennersystem sowie eine technologisch durchdachte Konstruktion des Calcinator. Zusätzlich können die Verbrennungsbedingungen durch eine Sauerstoffanreicherung in der Feuerungszone verbessert werden.

4.2 Brennstofffeinheit

Bereits in der Auslegungsphase muss die erforderliche Brennstofffeinheit ermittelt werden, da diese die Konstruktion und den Durchsatz des Mahlsystems bestimmt. Durch sie wird außerdem die Oberfläche der Brennstoffpartikel festgelegt, die für die Reaktion mit Sauerstoff zur Verfügung steht und damit die Verbrennungsgeschwindigkeit sowie -intensität bestimmt.

Wie Erfahrungswerte zeigen, wird die erforderliche Mahlfeinheit von dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bestimmt. Geringer flüchtige Bestandteile erfordern eine höhere Mahlfeinheit. **Tabelle 12** zeigt typische Feinheiten von Kohle und Petrolkoks für den Einsatz im Haupt- und Calcinatorbrenner. Die optimale Feinheit muss während des Betriebs ermittelt werden.

4.3 Brennerkonstruktion

Die Wahl einer geeigneten Brennerkonstruktion ist eine wichtige Voraussetzung für gute Brennverhältnisse, da sie für eine gute Brennstoff-Luft-Vermischung sorgen muss. Der bevorzugte Brenner für einen Zementdrehrohrofen bietet die Möglichkeit zur Beeinflussung der Flammenform und arbeitet mit der geringst möglichen Primärluftmenge. Ein Absenken der Primärluftmenge verbessert den thermischen Wirkungsgrad der Ofenanlage, da mehr heiße Sekundärluft ausgenutzt werden kann. Solche Brenner erfordern jedoch ein indirektes Feuerungssystem.

4.4 Calcinatorkonstruktion und -modifikation

Vor der Betrachtung der Verbrennungsführung im Calcinator sollen die drei grundsätzlichen Calcinatorkonfigurationen vorgestellt werden: Der „Total Flow“- , „Tertiary Air Flow“- und der „Hybrid“-Calcinator. **Bild 1** zeigt typische Konstruktionsmerkmale dieser Calcinatoren.

Im „Total Flow“-Calcinator findet die Verbrennung in einem Gemisch aus Ofengasen und Tertiärluft statt. Die Verbrennung beginnt in einer Atmosphäre, die 10 bis 14 Vol.-% Sauerstoff enthält und endet bei einem O₂-Gehalt von ca. 1 bis 3 Vol.-%. Im Bild nicht dargestellt ist die Mehlzuführung aus der nächsten Stufe in das untere Calcinatorende, von dem es mit den Verbrennungsgasen durch den Calcinator in die unterste Zyklonstufe gefördert wird. Entlang dieser Strecke finden Verbrennung und Wärmeaustausch zwischen Verbrennungsgasen und Mehl statt und führen zur Calcination.

Im „Tertiary Air Flow“-Calcinator findet die Verbrennung in Luft statt. Die Verbrennung beginnt daher bei einem Sauerstoffgehalt von 21 Vol.-% und endet bei 1 bis 3 Vol.-%. Das Mehl aus der nächsten Stufe wird in die Tertiärluft und oder im Brennerbereich aufgegeben, von dort gelangt es durch den Calcinator in die unterste Zyklonstufe. Entlang dieser Strecke finden Verbrennung und Wärmeaustausch zwischen Verbrennungsgasen und Mehl und Calcination statt.

„Hybrid“-Calcinatoren sind im Prinzip eine Kombination aus beiden. Die Verbrennung beginnt in Tertiärluft mit einem Sauerstoffgehalt von 21 Vol.-% und wird im Tertiärluft/Ofengasgemisch fortgesetzt sowie beendet. Das Mehl aus der nächsten Zyklonstufe wird dem Calcinator in der

Optimum combustion characteristics and a high level of fuel burnout is typically ensured in the design of a system by the appropriate selection of fuel fineness, burner system and the calciner design. The combustion characteristics can also be improved by an increase in the oxygen concentration in the combustion zone.

4.2 Fuel fineness

Determining the appropriate fuel fineness during the design phase is important since it affects the grinding system design and capacity. Fuel fineness influences the rate at which the fuel particles are exposed to oxygen. Finer fuel particles increase the surface area available for reaction with oxygen, which increase the reaction speed and hence, the combustion rate.

Experience shows that the recommended fineness is related to the volatile content of the coal. The lower the volatile content, the finer the solid fuel has to be ground. **Table 12** shows typical finenesses for coal and petroleum coke for use in cement kilns and calciners. The optimum fineness must be determined during actual operation.

TABELLE 12: Feinheiten von festen Brennstoffen
TABLE 12: Fineness of solid fuels

| Beschreibung Description | Maßeinheit Unit | Kohle Coal | Petrolkoks Petroleum coke |
|---|--------------------|---------------|---------------------------------|
| Flüchtige Bestandteile (trocken, aschefrei) Volatile content (dry, ash free) | M.-% wt.-% | 30 | 12 |
| R90-Wert des Brennstoffs für den Ofenbrenner Kiln burner fuel fineness (% retained on a 90 micron sieve) | M.-% wt.-% | 20 | 5 to 7 |
| R90-Wert des Brennstoffs für den Calcinatorbrenner Calciner burner fuel fineness (% retained on a 90 micron sieve) | M.-% wt.-% | 10 | 3 to 5 |

4.3 Burner design

Determining the appropriate burner design for the new fuel is important to ensure good fuel and oxygen mixing which is required for good combustion. In cement kilns, the preferred burner has flame-shaping capabilities and the ability to minimize primary air. Minimizing primary air will improve the fuel efficiency of the cement kiln system by replacing the primary air with hot secondary air. However, these burners require an indirect solid fuel firing system.

4.4 Calciner design and modification

Before discussing steps to control combustion in calciners, it is appropriate to review the three basic types of calciners that exist, the „total flow“ calciner, the „tertiary air flow“ calciner and the „hybrid“ calciner. **Figure 1** provides typical layouts of these calciners.

In total flow calciners, combustion takes place in a mixture of kiln exit gases and tertiary air. Combustion therefore starts in gases with about 10 to 14 vol.-% oxygen and ends in about 1 to 3 vol.-% oxygen. Although not shown in Figure 1, raw meal from the 2nd lowest stage of the preheater is fed into the bottom of the calciner and conveyed through the calciner to the lowest stage cyclone by the calciner gases. Combustion of fuel and heat exchange between combustion gases and meal takes place along this section causing calcination.

In tertiary air flow calciners, combustion takes place in air. Combustion therefore starts in gases with 21 vol.-%

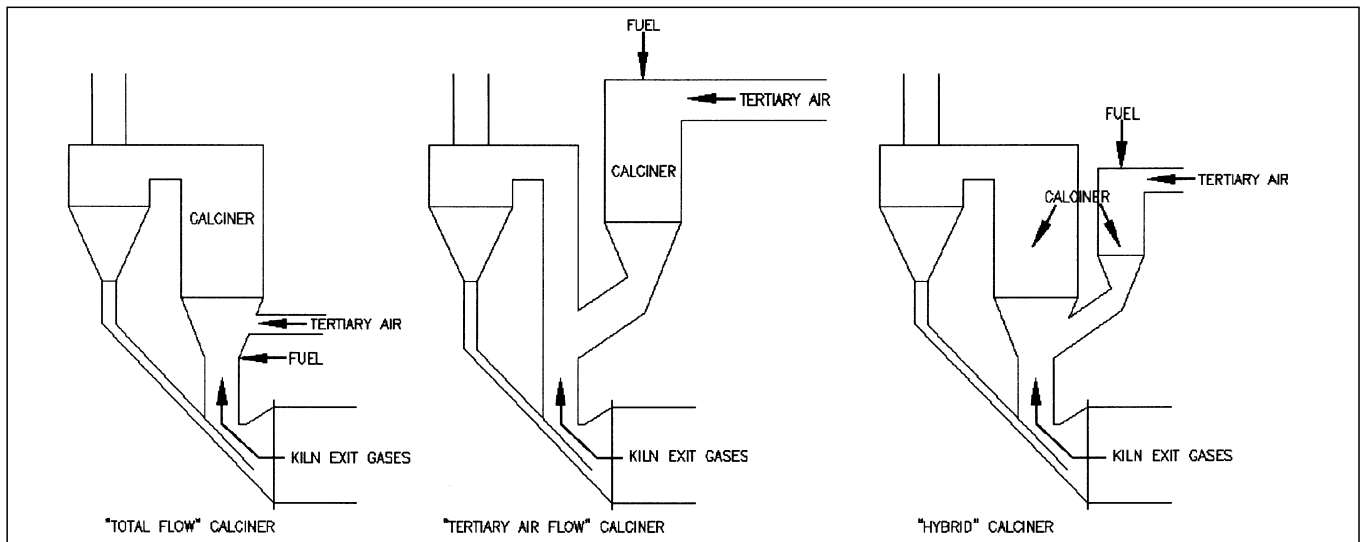


BILD 1: Typische Konstruktionsmerkmale der beschriebenen Calcineren

FIGURE 1: Typical design feature of the calciners described

Nähe der Brennstoffzuführung und der Ofenabgasleitung aufgegeben.

Die Gastemperatur am Calcinatoraustritt liegt bei allen Typen um 870 bis 900 °C. Diese Temperatur ist zur Calciniierung des Kalksteins erforderlich, jedoch nicht hoch genug, um im Calcinator Klinker entstehen zu lassen. In „Total Flow“- und „Hybrid“-Calcineren kann eine Zone mit Sauerstoffüberschuss („reduzierende Zone“) erzeugt werden, was für die Reduktion des im Ofen gebildeten NO_x vorteilhaft ist. Ein weiterer Vorteil dieser Bauarten besteht darin, dass die Verbrennung in einer Atmosphäre mit einem Sauerstoffgehalt von 21 Vol.-% beginnt. Das und die höheren Betriebstemperaturen erleichtern den Einsatz schwer brennbarer Brennstoffe. Das erforderliche Volumen ist für einen „Tertiary Air Flow“-Calciner am geringsten, u.a. deshalb, weil die Ofengase nicht durch den Calcinator geführt werden.

In **Tabelle 13** sind die wesentlichen Konstruktionsmerkmale der drei Calcinatorbauarten zusammengefasst. Im Allgemeinen erfordert der Wechsel zu einem schwerer brennbaren Brennstoff Änderungen am Calcinator und im Betrieb. Im folgenden Abschnitt werden solche Modifikationen beschrieben.

4.4.1 Situation 1

In Situation 1 ist ein „Total Flow“-Calciner vorhanden. Folgende Optionen stehen zur Verfügung:

Option 1a besteht in der Verlängerung der Gas-Verweilzeit durch eine Vergrößerung des Volumens. Diese Maßnahme ist erforderlich, um den vollständigen Ausbrand schwer brennbarer Brennstoffe sicherzustellen.

Option 1b ist der Umbau in einen „Hybrid“-Calciner und, falls erforderlich, einer Verlängerung des vorhandenen Calcineren. Vorteil dieser Option ist die Erhöhung der Verbrennungstemperatur im „Tertiary Air Flow“-Abschnitt, was den Ausbrand des neuen Brennstoffes begünstigt. Eine Erhöhung der Verbrennungsrate reduziert die erforderliche Verweilzeit. Für Petrolkoks beträgt die empfohlene Verweilzeit ca. 7 s in einem „Total Flow“-Calciner, während in einem „Hybrid“-Calciner nur etwa 4,5 s erforderlich sind.

4.4.2 Situation 2

In Situation 2 ist ein „Tertiary Air Flow“-Calciner vorhanden. Folgende Optionen stehen zur Verfügung:

Option 2a besteht in der Verlängerung der Gas-Verweilzeit durch eine Vergrößerung des Calcineren-Volumens, das für den Brennstoffausbrand günstig ist. Diese Maßnahme ist erforderlich, um den vollständigen Ausbrand des neuen Brennstoffes sicherzustellen.

oxygen and ends in about 1 to 3 vol.-% oxygen. Raw meal from the 2nd lowest stage of the preheater is fed into the calciner at the fuel burner end from where it is conveyed through the calciner to the bottom stage cyclone by the calciner gases. Combustion of fuel and heat exchange between combustion gases and meal takes place along this section causing calcination.

Hybrid calciners are essentially a combination of the total flow calciner and the tertiary air flow calciner. In hybrid calciners, combustion starts in tertiary air with 21 vol.-% oxygen and continues and ends in a mixture of tertiary air and kiln gases. Raw meal from the preheater 2nd lowest stage is fed into the calciner at the fuel burner end and into the kiln riser duct.

The gas temperature at the exit of the three types of calciners is kept around 870 to 900 °C which is required to calcine the limestone and yet low enough to avoid forming clinker in the calciner. Total flow calciners and hybrid calciners have an advantage that they can create a reducing zone in the kiln exhaust gases which reduces nitrogen oxides, NO_x, generated in the kiln. Tertiary air flow calciners and hybrid calciner have an advantage that combustion starts in an atmosphere with 21 vol.-% oxygen which is favorable for hard-to-burn fuels. The required calciner volume is lowest for tertiary air flow calciners because, among other things, the kiln exhaust gases do not pass through the calciner.

The most important construction details of the three calciners are shown in **Table 13**. In general, a fuel change from one fuel to a harder-to-burn fuel will require modifications to the calciner operation and design. The following section describes some such modifications.

4.4.1 Situation 1

Situation 1 occurs when the existing plant has a total flow calciner. The following options are available:

Option 1a is to increase the gas retention time by increasing the volume of the calciner. This measure is needed to ensure complete fuel burn out.

Option 1b is to convert the existing calciner to a hybrid calciner, and in some cases, to lengthen the existing calciner. The advantage of this option is the increase in combustion temperature in the „tertiary air flow“ section of the calciner, which will increase the combustion rate of slower burning fuels. The increased combustion rate reduces the required retention time. The typically recommended retention time for petroleum coke in a total flow calciner, for example, is about 7 seconds while in a hybrid calciner it is only about 4.5 seconds.

Option 2b liegt in der Erhöhung der Verbrennungstemperatur. Das kann erreicht werden, indem ein Teil des Heißmehls, welches normalerweise in Brennernähe in den Calcinator eintritt, zur Ofenabgasleitung oder zum Calcinatoraustritt geführt wird. In einigen Fällen besteht diese Option tatsächlich lediglich in einer Änderung der Betriebsweise und die relativ geringe Verbesserung der Verbrennungsbedingungen kann in manchen Fällen bereits ausreichend sein.

4.4.3 Situation 3

In Situation 3 ist ein „Hybrid“-Calcinator vorhanden. Die zur Verfügung stehenden Optionen sind die gleichen wie unter Situation 2.

4.5 Erhöhung des Sauerstoffanteils

Durch eine Erhöhung des Sauerstoffanteils in der Verbrennungszone werden die Verbrennungsbedingungen verbessert und damit die Verbrennungsgeschwindigkeit erhöht. In einem gewissen Umfang ist das durch eine Erhöhung des Luftüberschusses von z.B. 10 auf 15 Vol.-% möglich.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Sauerstoffanreicherung der Verbrennungsluft. Hierbei wird Sauerstoff mittels einer Lanze in den Ofen oder Calcinator eingeblasen. Diese Methode hat noch weitere positive Nebenwirkungen, wie z.B. eine Erhöhung des Ofendurchsatzes, was in der Vergangenheit der Hauptgrund für die Durchführung dieser Maßnahme war [17]. Die Auswirkungen der Sauerstoffanreicherung können beträchtlich sein: So beträgt die Verbrennungsgeschwindigkeit von Methan in Luft beispielsweise 45 cm/s und in Sauerstoff 450 cm/s [18].

TABELLE 13: Ausgewählte Konstruktionsmerkmale der beschriebenen Calcinatortypen
TABLE 13: Selected design features of the calciners described

| „Total Flow“- Calcinator Total flow calciner | „Tertiary Air Flow“- Calcinator Tertiary air flow calciner | „Hybrid“- Calcinator Hybrid calciner |
|---|---|--|
| Verbrennung findet in einem Gemisch aus Ofengasen und Tertiärluft statt (10 bis 14 Vol.-% O ₂) Combustion occurs in kiln exhaust gases mixed with tertiary air (10 to 14 vol.-% O ₂) | Verbrennung beginnt in Tertiärluft (21 Vol.-% O ₂) Combustion starts in tertiary air (21 vol.-% O ₂) | Verbrennung beginnt in Tertiärluft (21 Vol.-% O ₂) und wird im Tertiärluft/Ofengasgemisch fortgesetzt Combustion starts in tertiary air (21 vol.-% O ₂) and then mixes with kiln vent gases |
| Temperatur der Verbrennungsluft zwischen 870 bis 900 °C Combustion gas temperatures of 870 to 900° C | Temperatur der Verbrennungsluft zwischen 870 bis 1100 °C Combustion gas temperatures of 870 to 1100° C | Temperatur der Verbrennungsluft zwischen 870 bis 1500 °C (lokal) Combustion gas temperatures of 870 to 1500° C (localized) |
| Low-NO _x Einrichtung vorhanden Low NO _x arrangement available | Kleinste Abmessungen des Calcinator Smallest calciner vessel | Low-NO _x Einrichtung vorhanden Low NO _x arrangement available |
| | Am besten geeignet für schwerbrennbare Brennstoffe Best suited for hard-to-burn fuels | Zweitkleinste Abmessungen des Calcinator 2 nd smallest calciner vessel |
| | | Besser geeignet für schwerbrennbare Brennstoffe Better suited for hard-to burn fuels |

4.4.2 Situation 2

Situation 2 occurs when the existing kiln system has a tertiary air flow calciner. The following options are available.

Option 2a is to increase the gas retention time of the total flow calciner by increasing the volume of the calciner vessel. This provides additional time that is essential for fuel burn out.

Option 2b is to increase the combustion temperature. This can be achieved by directing some of the raw meal that normally enters the calciner near the burners to the kiln riser duct or to the calciner outlet. This option, in some cases, only requires an operational change, and the limited improvement in combustion conditions may sometimes be sufficient.

4.4.3 Situation 3

Situation 3 occurs when the existing kiln system has a hybrid calciner. The options available are the same as those in Situation 2.

4.5 Increasing the oxygen concentration

Combustion characteristics can be improved by an increase in the oxygen concentration in the combustion zone, which will increase the combustion speed. This can be achieved to a limited extent by increasing the excess air percentage, for example, from 10 to 15 vol.-%.

Another possible method is to use oxygen enrichment of the combustion air, for which oxygen is introduced into the kiln or calciner with a lance. This method has other positive effects, such as increased clinker production, which in the past was the main reason for employing this measure [17]. The impact of increased oxygen can be substantial; for example, methane has a fundamental burning velocity of 45 cm/s in air and 450 cm/s in oxygen [18].

4.6 Material build-up in preheater kiln systems

When considering a fuel change it is important to consider the potential effects on material build-ups. The main causes of material build-up are chlorine, sodium, potassium and sulfur. These components, which are present in ionic form, evaporate at the higher temperatures and condense on surfaces in the cooler areas, which leads to material build-ups which can disrupt the production process or lead to stoppages.

Material build-ups are more pronounced when the molar ratio of sulfur-to-alkali is not balanced in the kiln feed end area. The alkalis referred to here are those available to react with sulfur. High sulfur-to-alkali molar ratios tend to generate sulfate buildups and low ratios tend to generate alkali buildups.

Adding a raw meal „curtain“ near the kiln inlet can reduce material build-ups (Figure 2). Part of the raw meal from the second lowest cyclone is fed directly to the kiln inlet which extracts heat from the kiln gas to calcine the curtain [19]. The associated temperature drop causes the gaseous compounds responsible for the buildup to condense in the gas stream.

Another possible measure to reduce the material build-up problems in the affected areas of the kiln system is to install air cannons. This will allow the use of a higher percentage of high sulfur fuels, particularly petroleum coke.

5. Impact of fuel changes on the grinding system

This section describes some options for modifying the grinding system to handle new fuels. Depending on the type and extent of the fuel change there are usually sev-

4.6 Materialansätze in Vorwärmer-Ofensystemen

Bei einem Brennstoffwechsel sollten auch mögliche Auswirkungen auf Materialansätze betrachtet werden. Die wichtigsten Ansatzbildner sind Chlor, Natrium, Kalium und Schwefel. Diese ionisch vorliegenden Verbindungen verdampfen bei höheren Temperaturen und kondensieren an den Oberflächen der kälteren Bereiche, was zu Materialansätzen führt, die den Produktionsprozess stören oder zum Erliegen bringen können.

Ansätze sind besonders ausgeprägt, wenn das Molverhältnis von Schwefel/Alkalien im Bereich des Ofeneinlaufes nicht im Gleichgewicht ist, wobei hier die Alkalien gemeint sind, die für eine Reaktion mit Schwefel verfügbar sind. Hohe Molverhältnisse von Schwefel/Alkalien führen zu Sulfat-, niedrige zu Alkaliensätzen.

Vermindert werden können solche Materialansätze durch einen „Mehlschleier“ im Ofeneinlaufbereich (**Bild 2**). Hierfür wird ein Teil des Mehls aus der zweituntersten Zyklonstufe direkt zum Ofeneinlauf geführt, wodurch dem Ofengas Wärme zur Calcinierung des Schleiers entzogen wird [19]. Die damit verbundene Temperaturabsenkung lässt die gasförmigen Ansatzbildner im Gasstrom kondensieren.

Eine weitere Möglichkeit zur Begegnung der Ansatzbildungen im betroffenen Teil der Ofenanlage besteht im mehr oder weniger umfangreichen Einsatz von Luftkanonen. Derartige Maßnahmen erlauben den Einsatz eines höheren Anteils schwefelhaltiger Brennstoffe, insbesondere von Petrolkoks.

5. Auswirkungen von Brennstoffwechseln auf die Mahlanlage

In diesem Abschnitt werden Möglichkeiten für die Umstellung von Mahlanlagen auf neue Brennstoffe aufgezeigt. Je nach Art und Umfang eines Brennstoffwechsels bestehen meist mehrere wirtschaftliche Optionen. Daher werden zunächst die verschiedenen Mahlsysteme zur Betrachtung.

5.1 Mühlen

Für die Mahlung fester Brennstoffe werden in der Zementindustrie meist Vertikalrollenmühlen oder Kugelmühlen eingesetzt. **Tabelle 14** zeigt einen Vergleich der allgemein akzeptierten Vor- und Nachteile dieser beiden Mühlentypen. Deutlich wird, warum die Vertikalrollenmühle meist die bevorzugte Lösung ist. Zur Auswahl eines Mahlsystems sind jedoch bestimmte Dinge zu beachten. Die Erfahrung zeigt z. B., dass zur Dimensionierung einer Vertikalrollenmühle zur Vermahlung von Petrolkoks die Mahlbarkeitsuntersuchungen auch an einer solchen Mühle durchgeführt werden sollten. Der üblicherweise herangezogene Hardgrove Index ist hierfür nicht geeignet [20]. Eine weitere Frage ist die nach der Aufgabefähigkeit. Manche Petrolkoks-Arten, wie Fluid Coke oder Flexicoke, können im Anlieferungszustand bereits sehr fein (90% < 8 mesh oder 2,38 mm) und damit ungeeignet für eine Vertikal-Rollenmühle sein.

5.2 Modifikationen der Brennstoffaufbereitung

Im Folgenden werden mögliche Optionen bei unterschiedlichen Ausgangslagen für einen Brennstoffwechsel betrachtet.

5.2.1 Situation 1

In Situation 1 ist eine Kohlemahlanlage vorhanden, und Kohle soll durch Petrolkoks ergänzt werden. Die Anlage soll Kohle und Petrolkoks gemeinsam vermahlen und verfeuern.

Folgende Optionen stehen zur Verfügung:

Option 1a ist die Vermischung der beiden Brennstoffkomponenten vor der Mühlenaufgabe. Bei dieser kostengünstigsten Möglichkeit werden Kohle und Petrolkoks nach der Anlieferung getrennt gelagert, danach grob, z.B. mit

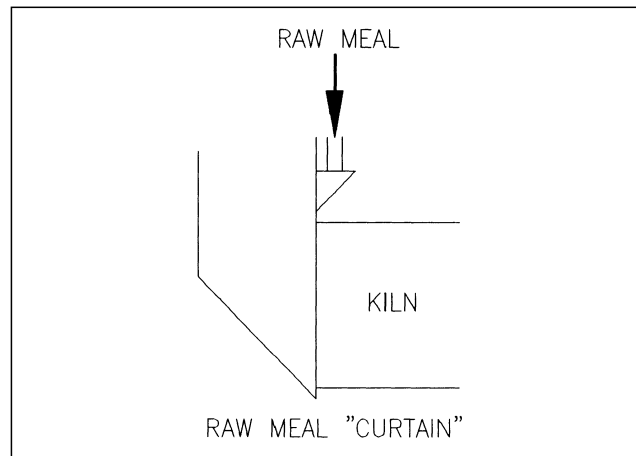


BILD 2: „Mehlschleier“ im Ofeneinlaufbereich

FIGURE 2: “Meal curtain“ at the kiln inlet

eral options that may be economically justifiable. It is worthwhile to review the different grinding systems.

5.1 Mills

Vertical roller mills or ball mills are normally used for grinding solid fuels in the cement industry. **Table 14** provides a list of commonly accepted advantages and disadvantages of these two types of mill. It is clear why the vertical roller mill is the preferred mill for most applications; however, some precautions are necessary when selecting a mill. Experience has shown that the best way to select a vertical mill for grinding petroleum coke is to perform tests on the petroleum coke in a vertical mill. The Hardgrove Index, which is commonly used to describe the grindability of coal, is not suitable for this purpose [20]. Another precaution is to determine whether a vertical roller mill is the best application for the new fuel. Some petroleum cokes, for example fluid coke and flexicoke, can be delivered in a very fine state (90% < 8 mesh or 2.38 mm) and are therefore unsuitable for grinding in a vertical roller mill.

5.2 Modifications to the fuel preparation system

Some options that are available for different situations when considering a fuel change are considered below.

5.2.1 Situation 1

Situation 1 occurs where a plant has an existing coal grinding system and the coal is to be supplemented with petroleum coke. The intention is to grind and fire a mixture of coal and petroleum coke. The following options are available.

Option 1a is to blend the two fuel components before feeding them to the mill. This alternative has the lowest capital cost expenditure; typically, coal and petroleum coke are stored separately after delivery, reclaimed with a front end loader in a predetermined ratio, placed in intermediate storage and fed to the existing grinding plant as a mixture. One disadvantage of this option is the limited throughput of the existing mill, and another is the possible occurrence of inhomogeneity in the mixture. This can lead to fluctuations in heat, sulfur and ash inputs, which will result in a higher heat consumption, reduced refractory life, and increased downtime.

Option 1b is the same as option 1a with the addition that it considers a replacement of an existing static classifier with a dynamic classifier, which will increase the grinding capacity of the system. This change usually results in about 10 to 15 percent more capacity at the same fineness or the ability to grind the fuels finer.

Schaufelladern gemischt, zwischengelagert und der Mahl-anlage als Mischung aufgegeben. Ein Nachteil dieser Option ist der begrenzte Durchsatz der vorhandenen Mühle, ein weiterer das mögliche Auftreten von Inhomogenitäten in der Mischung. Letzteres kann zu Schwankungen von Wärme-, Asche- und Schwefeleinträgen führen, was sich in einem höheren Wärmeverbrauch, kürzeren Futterstandzeiten und einer geringeren Anlagenverfügbarkeit niederschlagen würde.

Option 1b besteht zusätzlich in der Modernisierung des Mühlensichters, z. B. durch Einsatz eines effizienten Stabkorbsichters. Hiermit sind Leistungssteigerungen von 10 bis 15 % möglich.

Option 1c ist die getrennte Dosierung der Brennstoffkomponenten aus Silos auf die Mühle. Inhomogene Mischungen werden so vermieden.

Option 1d liegt in Kombinationen der oben genannten.

5.2.2 Situation 2

Diese Situation entspricht der Situation 1, wobei die vorhandene Mahlanlage jedoch erweitert werden soll.

Option 2a liegt in der Installation einer neuen Mahlanlage, die einen ausreichenden Durchsatz liefert, um 100 % Petrolkoks am Hauptbrenner des Drehofens zu verfeuern. Der Vorteil besteht darin, unterschiedliche Brennstoffmischungen in der Hauptfeuerung und im Calcinator zu verfeuern, wobei eine Modifikation des Calcinator vermieden werden kann.

5.2.3 Situation 3

Hier ist keine Anlage für feste Brennstoffe vorhanden. Der Brennstoffbedarf soll ganz oder teilweise durch Kohle, Petrolkoks oder eine Mischung aus beiden gedeckt werden.

Option 3a besteht in der Installation einer kompletten neuen Anlage zur Aufbereitung und Verfeuerung der festen Brennstoffe. Der Investitionsbedarf ist hier am höchsten.

6. Betriebssicherheit

Die Handhabung fester Brennstoffe, insbesondere von Kohlen, ist bedeutend gefährlicher als von Erdgas oder Öl. Niedrige Zündtemperaturen und die Gefahr der Selbstentzündung erschweren die Lagerung und Aufbereitung. Zu dieser Thematik stehen eine Anzahl von Referenzen und Richtlinien, wie z.B. Publikationen der U.S. National Fire Protection Agency NFPA oder der U.S. Portland Cement Association PCA „Recommendation Guidelines for Coal System Safety“ zur Verfügung.

7. Schlussbetrachtungen

In dem Beitrag wurden Betrachtungen zur Brennstoffumstellung und die daraus folgenden Auswirkungen auf die Zementqualität, Ofenauslegung und dessen -betrieb sowie der Brennstoffaufbereitungs- und Feuerungssysteme durchgeführt. Einige dieser Auswirkungen können den Einsatz neuer Brennstoffe begrenzen. Die Wirtschaftlichkeit einer Umstellung ist naturgemäß stark vom Einzelfall abhängig und muss jeweils sorgfältig abgewogen werden.

Literaturverzeichnis/Literature

- [17] Coveney, David F., Hicks, James K.: Oxygen Enrichment For Improvements in Emissions Control While Burning Waste Fuels.
- [18] NFPA 68, Guide for Venting of Deflagration, 1994 Edition, Table C-2.
- [19] Rhin, Charles: MINOX Precalciner Recent developments and applications in precalcination of any solid fuel with low NO_x emission, presented at the European Cement Conference in Berlin Germany on September 12th to 15th 1999 by Technip CLE.
- [20] Schröder, Bernhard: Petroleum Coke Grinding in Loesche Roller Mill, presented at the Loesche America, Inc. 3rd Annual Seminar in Miami Beach, FL.

TABELLE 14: Vergleich der Vor- und Nachteile von Vertikalrollenmühlen im Vergleich zu Kugelmühlen

TABLE 14: Comparison of the advantages and disadvantages of vertical roller mills compared with ball mills

| Vorteile von Vertikalrollenmühlen gegenüber Kugelmühlen Advantages of a vertical roller mill versus a ball mill | Nachteile von Vertikalrollenmühlen gegenüber Kugelmühlen Disadvantages of a vertical roller mill versus a ball mill |
|--|--|
| Niedriger Energieverbrauch Lower energy consumption | Hoher Verschleiß Higher wear |
| Hohe Trocknungsleistung High drying capacity | Anfällig für Vibrationen Sensitive to variations |
| Großer Regelbereich Wide range of output capacity | Hoher Wartungsaufwand Higher maintenance costs |
| Große Aufgabestückgröße Accepts larger feed sizes | |
| Niedrige Geräuschemission Lower noise level | |
| Geringer Platzbedarf Requires less space for installation | |

Option 1c is the same as option 1a with the addition of a separate petroleum coke feed bin and weigh feeder to meter the petroleum coke along with metered coal into the mill. This will reduce the heat, sulfur and ash input variation to the kiln.

Option 1d is the combination of the above-mentioned options.

5.2.2 Situation 2

This situation corresponds to situation 1, but where the intention is to supplement the existing grinding system.

Option 2a is to install a new grinding system with sufficient grinding capacity to burn 100% petroleum coke in the kiln burner. The advantage consists of burning different mixtures of fuels in the kiln and calciner, which avoids the need to modify the calciner.

5.2.3 Situation 3

This occurs when the existing plant does not have a solid fuel grinding system. The fuel requirement is to be partially or entirely covered by coal, petroleum coke or a mixture of the two.

Option 3a is to install a completely new grinding and firing system for solid fuel. This option is associated with the highest capital costs.

6. Safety considerations

When considering a fuel change, it is advisable to consider the safety aspects and requirements of the new fuel. Coal is significantly more dangerous to handle than the other fuels including petroleum coke because of its low ignition temperature and its auto-ignition potential while stored. There are a number of references and guidelines available on this topic, such as publications by the U.S. National Fire Protection Agency (NFPA) and the U.S. Portland Cement Association publication „Recommendation Guidelines for Coal System Safety.“

7. Final remarks

This paper has carried out a review of fuel changes and the resulting impact on cement quality, on kiln design and operation, and on the fuel grinding and firing system. Some of these effects may limit the use of new fuels. The economic feasibility of a fuel change is naturally heavily dependent on the individual circumstances and must therefore be evaluated carefully.