

Das Reengineering bestehender Kalköfen

Dr.-Ing. Thomas Schlegel¹, Dipl.-Ing. (ENSCCF) Guilhem Padox¹

Kalkhersteller sind in Industrieländern zunehmend damit konfrontiert, Kalk in Öfen zu produzieren, die vor Jahrzehnten entwickelt wurden, als noch andere Rahmenbedingungen galten. Damit die Produktion den heutigen bzw. zukünftigen Standards entspricht, rüstet man die bestehenden Einrichtungen meist entweder auf oder man investiert sogar in neue Anlagen. Wie anhand eines praktischen Beispiels gezeigt wird, kann häufig mit Hilfe einer detaillierten Untersuchung der Prozessbedingungen und der darauffolgenden Identifizierung kostengünstiger, geringfügiger Verbesserungsmaßnahmen eine günstigere Alternative gefunden werden, die es ermöglicht, mit verbesserten Produkten neue Märkte zu erschliessen und zukünftige Umweltauflagen zu erfüllen.

Im vorgestellten, konkreten Beispiel betreibt ein Kalkhersteller zwei Schachtöfen. Da die derzeitigen CO-Emissionen bei weitem den künftigen Grenzwert überschreiten, wurden Versuche und Rechnungen durchgeführt, um die Prozessbedingungen zu optimieren. Daraus ergab sich eine drastische Verminderung der CO-Emissionen sowie eine Verbesserung der Kalkqualität.

¹ EESAC SAS (www.eesac.eu), Duingt/France

1 Einführung

Das Alter aller, aktuell in Europa und in USA betriebenen Kalköfen, wurde mit Hilfe verschiedenener, öffentlicher Informationsquellen (Referenzliste der Ofenhersteller, statistische Berichte, Mitteilungen der Kalkhersteller, ...) abgeschätzt. Somit konnte die statistische Verteilung der heute noch betriebenen Kalköfen in Abhängigkeit ihres Alters ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Bild 1 zusammengefasst.

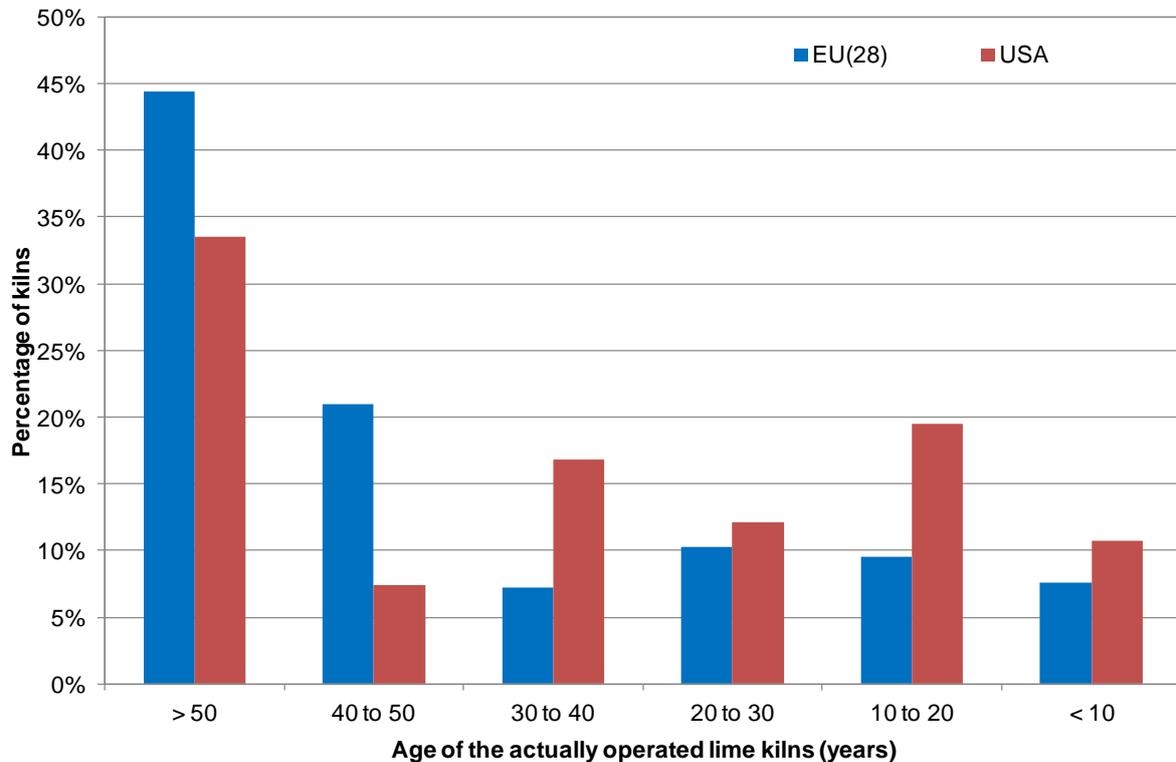


Bild 1: Statistische Altersverteilungen der aktuell in EU(28) and USA betriebenen Kalköfen

Wie aus Bild 1 hervorgeht sind 65% der in der EU (28) betriebenen Kalköfen mehr als 40 Jahre alt. Obwohl in den letzten Jahrzehnten in den USA viele neue Kalköfen gebaut wurden, werden auch dort immer noch 40% der Öfen seit mehr als 40 Jahre betrieben.

Wie aus dem Merkblatt über die "Besten verfügbaren Techniken in der Zement-, Kalk- und Magnesiumoxidindustrie" [1] zu entnehmen ist, sind zwei der Schlüsselkriterien für die Auswahl und Gestaltung von Kalköfen die Art der Lagerstätte (Eigenschaften, Verfügbarkeit, chemische Zusammensetzung des Kalksteines) und die vom Markt verlangte Kalkqualität.

Da viele Öfen seit mehr als 40 Jahren betrieben werden, ist davon auszugehen, dass an vielen Orten die ursprünglich genutzten Steinbrüche erschöpft sind. Diese wurden durch neue ersetzt, die u.U. andere physikalische und chemische Eigenschaften haben. Außerdem wurde im Laufe der Zeit häufig die Steinvorbereitung verändert, um die vorhandene Lagerstätte besser auszubeuten. Dies kann zu Veränderung der Brennguteigenschaften führen. Zusätzlich sind durch neue Anwendungen und Märkte andere Anforderungen in Bezug auf die Produkteigenschaften (Kalkreaktivität, Rest CO₂, Schwefelgehalt, etc ...) entstanden.

Aus diesen Gründen können Öfen, die zum Zeitpunkt ihres Baus den äußeren Bedingungen bestens angepasst waren, unter den aktuellen oder zukünftigen Bedingungen immer schwieriger betrieben werden.

Die Einführung neuer Umweltvorschriften (z.B. niedrigere Emissionsgrenzwerten oder Berücksichtigung neuer Schadstoffe) stellt in diesem Zusammenhang eine zusätzliche Herausforderung dar. Die durch diese Regeln auferlegten Zwänge können zu notwendigen Veränderungen in den Prozess- und Betriebsbedingungen führen, die wiederum die Produktqualität beeinflussen, wie im Beispiel gezeigt.

2 Verminderung der CO Emissionen aus Schachtöfen

2.1 Ausgangszustand

Ein Kalkhersteller betreibt zwei Schachtöfen mit einer jeweiligen Nennleistung von 80 Tonnen Kalk pro Tag. Beide Öfen sind gasgefeuert. Sie sind mit einer Zentrallanze ausgestattet, die etwa 40% der Energie liefert. Auf zwei Ebenen mit jeweils 7 Brennern werden die restlichen 60% der Energie zugeführt. Bild 2 zeigt eine schematische Darstellung dieser Öfen.

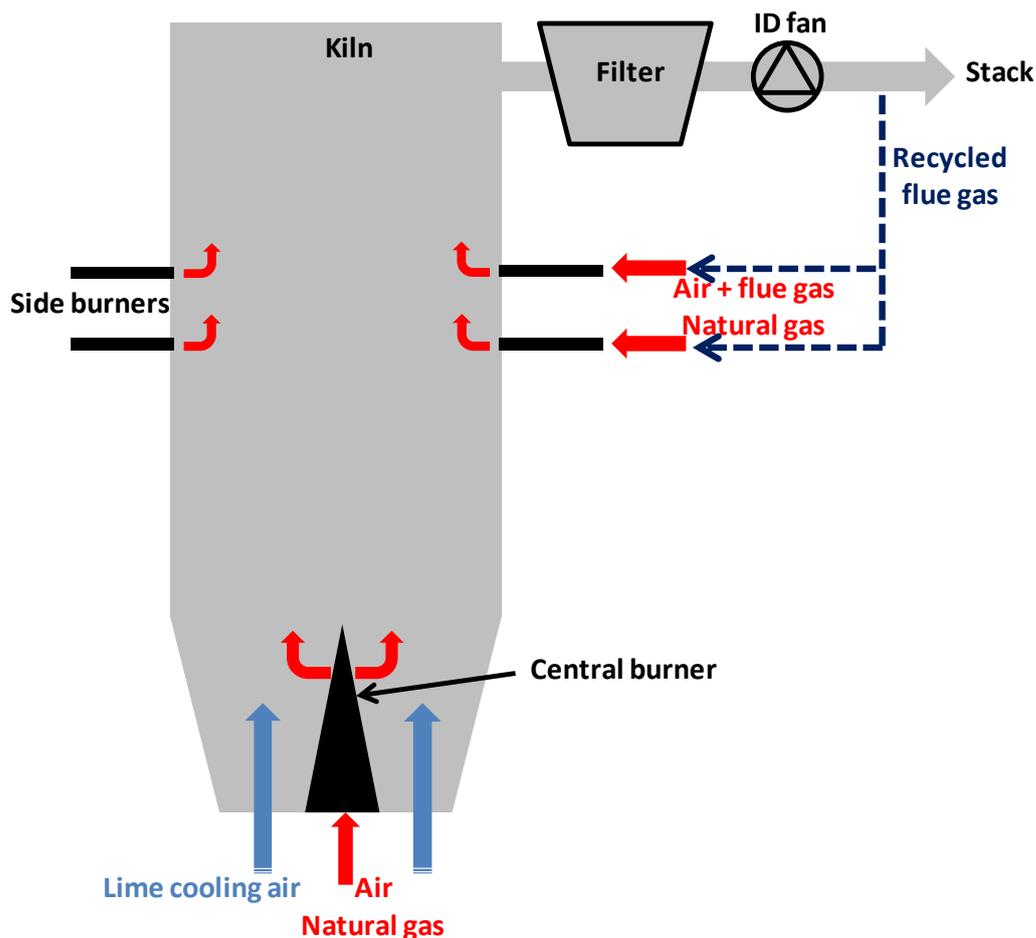


Bild 1: Allgemeiner Aufbau der Schachtöfen

Die Öfen werden von oben mit 30 bis 80 mm grossen Kalksteinen bestückt. Der Branntkalk wird unten abgezogen, nachdem er durch einen Gegenstrom (Frischluff) abgekühlt wurde. Das Abgas wird mit Hilfe eines Filters entstaubt und durch ein Gebläse abgesaugt, bevor es über einen Kamin in die Atmosphäre gelangt. Luft und Erdgas werden den Öfen über die Zentrallanze und die Seitenbrenner zugeführt. Zusätzlich wird ein Teil des Abgases über die Seitenbrenner in die Öfen zurückgeleitet. Diese Rückführung soll hohe Temperaturen im Bereich der Seitenbrenner vermeiden, denn sie können Ofenstörungen oder Feuerfestschäden verursachen.

Die Qualitätsanforderungen an den Branntkalk, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind, entsprechen den lokalen Anforderungen des Absatzmarktes.

	Rest CO ₂	Kalkreaktivität
Spezifikationen	< 7%	Temperature > 60°C after 25 minutes

Table 1: Qualitätspezifikationen

Die CO-Emissionen der Öfen lagen bisher im Bereich zwischen 700 und 5000 mg/Nm³. Es ist zu erwarten, dass mit der Einführung der Richtlinie über Industrieemissionen (IED) bis spätestens April 2017 ein Emissionsgrenzwert² für CO von 500 mg/Nm³ eingeführt werden wird. Im Betrieb wurden daraufhin intern mehrere Versuche durchgeführt, um zu erkunden, welche Maßnahmen zu einer Reduzierung der CO-Emissionen führen könnten.

Einige Versuche waren erfolgreich aber sie führten zu einer Verschlechterung der Kalkqualität. Die Vorgehensweise musste daher geändert werden.

2.2 Methodik zur Lösung des Problems

Nachdem seiner Beauftragung hat EESAC vorgeschlagen, zuerst eine Parameterstudie durchzuführen, um diejenigen Prozessfaktoren zu identifizieren, die die CO-Emissionen der Öfen maßgeblich beeinflussen. Die vorgeschlagene Methode bestand darin, zunächst spezielle Kurzversuche (d.h. Maximaldauer von 2 Stunden) zu realisieren, um die möglichen Auswirkungen bestimmter Prozessveränderungen auf die CO-Emissionen zu erfassen. Es wurde nur ein Versuch pro Tag durchgeführt, um eine gute Stabilität des Ofens aufrechtzuerhalten.

Sobald die Schlüsselparameter identifiziert waren, wurden Tests, die mindestens eine Woche lang andauerten, mit neuen Ofeneinstellungen durchgeführt. Sie dienten dazu, die Auswirkungen der neuen Prozessbedingungen auf die Kalkqualität und auf das Ofenverhalten abzuschätzen.

² Alle in diesem Artikel genannten Konzentrationen beziehen sich auf eine Referenz-Sauerstoffkonzentration von 11%

2.3 Ursprüngliche Ofeneinstellungen

Um die ursprünglichen Prozessbedingungen in den Öfen zu verstehen, wurde eine Wärme- und Stoffbilanz durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse, die für diese Studie von Interesse sind, sind in Tabelle 2 zusammengefasst. In dieser Tabelle entspricht ein Verbrennungsluftverhältnis von 1 stöchiometrischen Verbrennungsbedingungen.

Verbrennungsluftverhältnis - Zentrallanze	0.44 – 0.48
Verbrennungsluftverhältnis - Seitenbrenner	0.39 – 0.42
Globales Verbrennungsluftverhältnis	1.20 à 1.23

Table 2: Wichtigste Ergebnisse der Wärme- und Stoffbilanz

Wie Tabelle 2 zeigt, wurden alle Brenner unterstöchiometrisch betrieben, vor allem um die Ofentemperatur zu minimieren. Das globale Luftverhältnis, über den gesamten Ofen gesehen, liegt jedoch wegen der Zugabe von Kühlluft an der Unterseite des Ofens über dem stöchiometrischen Wert. Solche Verhältnisse sind im Bereich der Seitenbrenner bei dieser Art von Schachtföfen üblich. Das globale Luftverhältnis liegt dann jedoch eher im Bereich 1,5 bis 2,0.

Bei dieser Art von Öfen liegen die CO-Emissionen meist unter 100 mg/Nm^3 . In diesem Stadium konnte man daher darauf schließen, dass eine Verringerung der Emissionen möglich sein und getestet werden sollte.

2.4 Kurzeitige Versuche

Wie bereits erwähnt, wurde jeder Kurzversuch während maximal 2 Stunden an einem der beiden Öfen durchgeführt. Während dieser Tests wurden die wichtigsten Prozessparameter (Temperaturen, Druck, Luft und Gasvolumenströme, etc ...) und die Ofenemissionen kontinuierlich registriert. Die Hauptergebnisse dieser Versuche sind nachstehend zusammengefasst.

- Abschalten der Zentrallanze:
Der Test wurde durchgeführt, um den Beitrag der Zentrallanze auf die CO-Emissionen abzuschätzen. Dies führte vor allem deshalb zu einer Abnahme von 99% der genannten Emissionen (Konzentration unter 100 mg/Nm^3), weil das globale Luftverhältnis im Ofen von 1,23 auf 2,29 stieg.
- Abschalten der Seitenbrenner:
Entsprechend dem vorhergehenden Versuch wurde angestrebt, den Beitrag dieser Brenner an den CO-Emissionen festzustellen. Es wurde eine 98%^{ige} Verringerung dieser Emissionen beobachtet; das globale Luftverhältnis stieg hierbei von 1,22 auf 3,44.
- Erhöhung der Verbrennungsluftmenge in der Zentrallanze um 25% bzw. 40%:
Diese Massnahme führte nur zu einer 10%^{igen} Verminderung der CO Emissionen..
- Zunahme der Luftmenge in den Seitenbrennern um 25% bzw. 40%:
Eine Verminderung von bis zu 29% der CO Emissionen wurde festgestellt, die Konzentrationen blieben aber höher als 2000 mg/Nm^3 .

- Ersatz des durch die Seitenbrenner zurückgeführten Abgases durch Luft:
Das Ziel bestand hier darin, das Luftverhältnis in diesen Brennern deutlich zu erhöhen (d.h. von 0,39 auf 0,73). Daraus ergab sich eine 74%^{ige} Reduktion der CO-Emissionen, die jedoch weiterhin im Bereich 1000 bis 1300 mg/Nm³ blieben.
- Zunahme der Kühlluftmenge:
In diesem Versuch wurde das globale Luftverhältnis von 1,21 auf 1,47 angehoben. Daraus ergab sich eine 94%^{ige} Reduktion der CO-Emissionen, deren Konzentrationen nun unter 300 mg/Nm³ lag.

Diese Tests verdeutlichten, dass zwei wesentliche Änderungen im Prozess die CO-Emissionen deutlich beeinflussten:

1. die Erhöhung der Luftmenge in den Seitenbrennern,
2. die Zunahme des globalen Luftüberschusses im Ofen, die insbesondere durch eine erhöhte Kühlluftmenge erreicht werden kann. Diese vielversprechenden Ergebnisse wurden verwendet, um die nächste Stufe der Studie vorzubereiten. Dort sollten Versuche über längere Zeiträume hinweg durchgeführt werden.

2.5 Versuche mit neuen Prozessparametern

Die Tests wurden während zwei Monaten in nur einem Ofen durchgeführt. Wie nachfolgend beschrieben, wurde diese Zeitspanne in fünf Zeitabschnitte unterteilt:

- Periode Nr.1, Dauer 5 Tage:
In diesem Zeitraum wurde die Kühlluftmenge um 20% erhöht.
- Periode Nr.2, Dauer 5 Tage:
In diesem Zeitraum wurde die Kühlluftmenge um 30% erhöht. Aufgrund der Leistung des vorhandenen Gebläses konnte diese Luftmenge nicht weiter erhöht werden.
- Periode Nr.3, Dauer 5 Tage:
Der Ofen wurde unter den ursprünglichen Standard-Betriebsbedingungen geführt.
- Periode Nr.4, Dauer 10 Tage:
Während dieser Zeit wurde das Abgas, das normalerweise in die Seitenbrenner zurückgeführt wird, durch Luft ersetzt, um ein Luftverhältnis von rund 0,60 zu erreichen. Nach 5 Tagen wurden die gleichen Prozessbedingungen beibehalten, ausser dass die Kühlluftmenge um 20% erhöht wurde.
- Periode Nr.5, Dauer 5 Tage:
Der Ofen wurde unter den ursprünglichen Standard-Betriebsbedingungen geführt.
- Periode Nr.6, Dauer 11 Tage:
In dieser Phase wurde die Kühlluftmenge entsprechend der Periode Nr.2 um 30% erhöht. Das Ziel dieses Tests war es, die Ergebnisse der Periode Nr.2 zu validieren und den Ofen so weit wie möglich stabil zu betreiben.

Wie in den Kurzversuchen bereits eingeführt, wurden die wichtigsten Prozessparameter und die Ofenabgaszusammensetzung aufgezeichnet. Darüber hinaus wurde die Kalkqualität dreimal pro Tag kontrolliert.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen jeweils die CO-Emissionen des Ofens und die im Bereich der Seitenbrenner gemessenen Temperaturen.

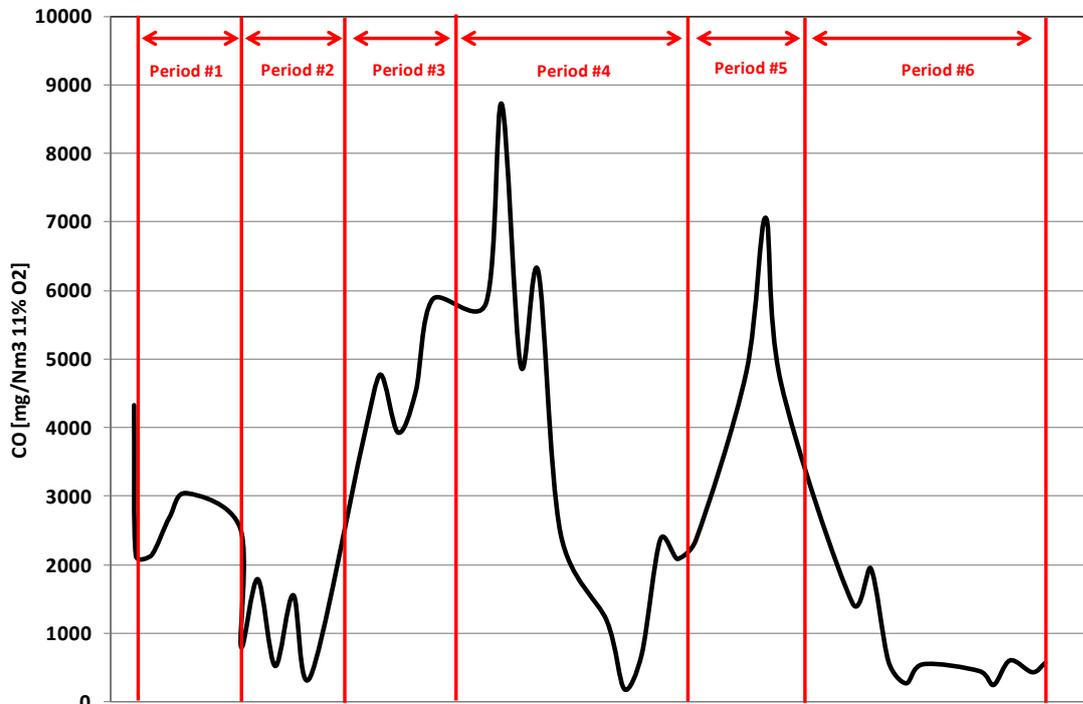


Bild 2: CO Emissionen des Ofens während der gesamten Versuchsperiode

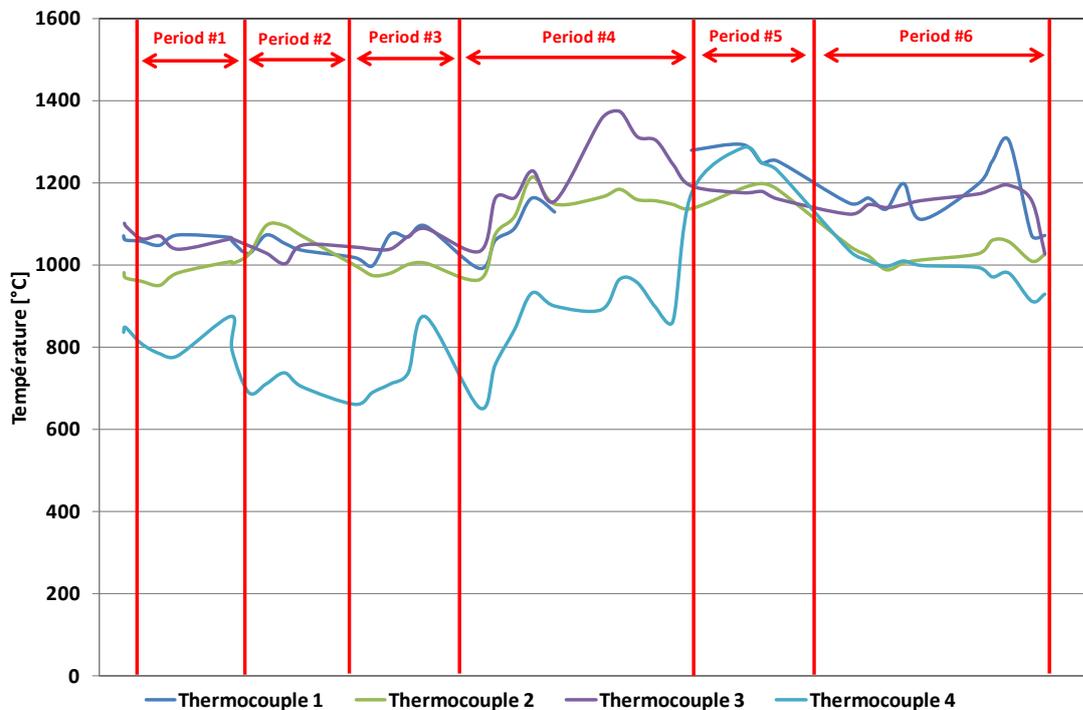


Bild 3: Temperaturen im Bereich der Seitenbrenner während der gesamten Versuchsperiode

Die Testergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden.

- Periode Nr.1: Die CO Emissionen verminderten sich von 4300 auf 2000 – 3000 mg/Nm³. Die Temperaturen im Bereich der Steinbrenner blieben unverändert.
- Periode Nr.2: Während diesem Zeitraum sanken die CO-Konzentrationen auf Werte zwischen 350 und 1500 mg/Nm³. Die Veränderungen des CO-Gehaltes in diesem Zeitraum sind ungeklärt. Die Prozessbedingungen im Ofen blieben unverändert und die Ofentemperaturen waren stabil. Dennoch nahmen die CO-Konzentration im Durchschnitt während der gesamten Versuchsdauer ab.
- Periode Nr.3: Als der Ofen in seinem Ausgangszustand zurückversetzt wurde, stiegen die CO Konzentrationen auf Werte von 4000 bis 6000 mg/Nm³.
- Periode Nr.4: In dieser Testphase zeigten die Messdaten, dass die Prozessbedingungen, insbesondere der Ofendruck und die Temperaturen, ständig instabil waren. In der Ebene der Seitenbrenner wurde innerhalb von 4 Tagen ein deutlicher Anstieg der Temperaturen von 200°C festgestellt. In der gleichen Zeit verringerte sich der CO-Gehalt von 6000 langsam auf einen Durchschnittswert von 1500 mg/Nm³.
- Periode Nr.5: Der Ofen beruhigte sich und die Ofentemperatur nahm in der zweiten Hälfte der Periode ab. Die mittlere CO-Konzentration stieg wieder auf 5500 mg/Nm³.
- Periode Nr.6: Der Ofen blieb während der gesamten Zeit sehr stabil und die Verteilung der Temperaturen im Bereich der Seitenbrenner war wesentlich homogener. Die CO-Werte fielen auf einen Durchschnittswert von 340 mg/Nm³.

Tabelle 3 zeigt die Entwicklung der Kalkqualität im Laufe der Zeit.

	Rest CO ₂	Kalkreaktivität Temperatur nach 25 min
Periode Nr.1	3.7%	67°C
Periode Nr.2	2.7%	71°C
Periode Nr.3	3.6%	68°C
Periode Nr.4	5.2%	62°C
Periode Nr.5	2.5%	57°C
Periode Nr.6	1.2%	72°C

Tabelle 3: Entwicklung der Kalkqualität mit der Zeit

Während der ersten drei Perioden blieb die Kalkqualität stabil und die Rest CO₂-Werte waren gut; die Reaktivität übertraf bei weitem die Qualitätsanforderung. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den stabilen Temperaturen, die in diesen Testphasen gemessen wurden. Die Qualität (insbesondere die Reaktivität) begann jedoch während der Periode Nr.4 abzunehmen. Der Trend setzte sich bis zum Ende der Periode Nr.5 fort. Diese Entwicklung ist sicherlich eine Folge des großen Temperaturanstieg im Ofen, der während der Periode Nr.5 beobachtet wurde. Es wurde dadurch wahrscheinlich Hartbranntkalk erzeugt. Letztendlich erreichte die Kalkqualität in der Periode Nr.6 wieder angemessene Werte.

Es folgt, dass während des Testzeitraums die beste Kalkqualität während der Perioden Nr.2 und 6 erreicht wurde, also in Zeiten, in denen die meiste Kühlluft zugeführt wurde.

Wie die Messungen im Ofen zeigen (siehe Abbildung 4) wurde insbesondere während der Periode Nr.6 eine bessere Homogenität der Temperaturen beobachtet. Dies führte zu ausgeglicheneren Brennbedingungen, die für die Produktion von reaktivem Kalk günstig sind.

2.6 Perspektiven

Die 30%^{ige} Erhöhung der Kühlluftmenge führte zu einer Reduktion von mehr als 90% der CO-Emissionen. Diese Emissionen erreichten eine durchschnittliche und dauerhafte Konzentration von 340 mg/Nm³. Gleichzeitig wurde eine geringe Zunahme der NO_x-Emissionen beobachtet. Diese blieben jedoch unter 75 mg/Nm³, also deutlich unter dem Emissionsgrenzwert.

Unter diesen Prozessbedingungen zeigen die Messungen sehr konstante Ofenverhältnisse mit homogenen Temperaturen und Drücken. Die Kalkqualität erfüllt nicht nur die geforderte Spezifikation, sie verbessert sich sogar im Vergleich zum Ausgangszustand. Die Einstellung wurde daher für den Ofen beibehalten, so dass die zukünftige gesetzliche Anforderung (CO < 500 mg/Nm³) eingehalten wird, ohne dass der Ofen selbst verändert werden muss. In den kommenden Monaten wird diese Lösung auch für den zweiten Ofen angewandt werden.

3 Schlussfolgerung

Der in diesem Artikel vorgestellte Fall beschreibt eine Möglichkeit, mit der ältere Kalköfen an neue Produktionsanforderungen oder die neuesten Umweltstandards angepasst werden können. Die maßgeschneiderte Lösung erlaubte es, die Produktion in der vorhandenen Anlage beizubehalten ohne erhebliche Investitionskosten zur Folge zu haben.

[1] Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime, Magnesium oxide manufacturing industries, European Commission, May 2010.