

Inhalt

0	Präambel	5
1	Drehofenbrenner	9
1.1	Entwicklung der Brennertechnologie	9
1.2	Konzepte zur Primärluft- und Brennstoffführung	10
1.2.1	Anordnung der Primärluft- und Brennstoffkanäle	10
1.2.2	Brenneraufbau und Ausströmkonzepte	12
1.2.3	Ring- und Einzelstrahlkonzepte	18
1.2.4	Einstellung der Austrittsgeschwindigkeiten	20
1.2.5	Sekundärbrennstoffaufgabe	21
1.2.6	Aufreißen des Sekundärbrennstoffstrahls	24
1.2.7	Brennerträger	25
1.3	Drehofenbrenner	28
1.3.1	Unitherm Cemcon: M.A.S.-Brenner	29
1.3.2	ROCKTEQ International: Mehrkanal-Brennersystem	32
1.3.3	Polysius: POLFLAME-Brenner	35
1.3.4	PILLARD: ROTAFLAM-Brenner	38
1.3.5	KHD Humboldt Wedag: PYROSTREAM-Brenner	41
1.3.6	GRECO: FlexiFlame-Brenner	45
1.3.7	FLSmith: Duoflex-Brenner	47
1.3.8	FCT Combustion: Turbu-Jet-Brenner	50
2	Verbrennung von Sekundärbrennstoffen	53
2.1	Prinzip der Verbrennung von festen Brennstoffen	54
2.2	Einflussfaktoren auf die Verbrennung von festen Brennstoffen	56
2.3	Eigenschaften von Sekundärbrennstoffen	56
2.3.1	Heizwert H_u	57
2.3.2	Flüchtige Bestandteile	57
2.3.3	Korngröße und Kornform	59
2.3.4	Feuchte	64
2.3.5	C/H-Verhältnis	65
3	Drehofenfeuerungen	67
3.1	Brenner im Betrieb	67
3.1.1	Axialluft	67
3.1.2	Drallluft	67
3.1.3	Kombiluft	68
3.1.4	Zentralluft	68
3.1.5	Weitere Luftarten	69
3.2	Betriebsgrößen	71
3.3	Flammenformung	71
3.4	Normalbetrieb und Anfahrbedingungen	72
3.5	Ausbrand und Geschwindigkeiten	74
3.6	Einfluss der Brennerposition	75
3.6.1	Verschiebung des Brenners entlang der Ofenachse	75

3.6.2	Anstellung des Brenners	76
3.6.3	Ausrichtung des Brenners zum Klinkerbett	76
3.6.4	Anhebung des Brenners	76
3.7	Stickstoffoxidbildung bei Einsatz von Sekundärbrennstoffen	77
3.7.1	NO-Bildungsmechanismen	77
3.7.2	Effekte des Drehofenbrenners auf die NO-Bildung	77
3.7.3	Einfluss alternativer Brennstoffe auf die NO-Bildung	78
3.8	Einfluss unterschiedlicher Ofensysteme auf die Drehofenfeuerung	79
4	Ofenbetrieb	83
4.1	Einfluss von Sekundärbrennstoffen	83
4.2	Einfluss der Brennstofffeuchte auf den Brennprozess	86
4.3	Einfluss der Sekundärbrennstoffe auf die Flammenlänge	87
4.4	Prozessstabilisierung und erweiterter Sekundärbrennstoffeinsatz durch Sauerstoffanreicherung der Verbrennungsluft	88
5	Einfluss auf die Abgasmenge und -zusammensetzung	89
6	Feuerungsbedingte Einflüsse des Sekundärbrennstoffeinsatzes auf die Klinkerqualität	93
6.1	Einfluss durch lokal reduzierende Bedingungen	93
6.2	Einfluss durch Veränderungen des Temperaturprofils im Drehofen	94
6.3	Weitere Einflüsse	95
7	Elektrische Ausrüstung	97
8	Verschleiß	101
8.1	Tribologie – Definition der auftretenden Verschleißarten	101
8.2	Verschleißorte am Drehofenbrenner	103
8.2.1	Brennermund	103
8.2.2	Brennstoffführende Ring- und Vollquerschnittskanäle	104
8.3	Konzepte zur Verschleißminderung	105
8.3.1	Brennerplan	105
8.3.2	Ursachen des Verschleißes	105
8.3.3	Einsatz verschleißmindernder Werkstoffe	106
8.4	Anregungen zur Wartungsoptimierung	108
9	Literatur	109

0 Präambel

Bei der Zementherstellung wird der wesentliche Anteil an thermischer Energie für das Brennen des Zementklinkers aufgewendet. Um die begrenzt verfügbaren Ressourcen zu schonen und die brennstoffbedingten CO₂-Emissionen zu senken, werden zunehmend Sekundärbrennstoffe in der Zementindustrie eingesetzt. Dabei spielen die Umweltverträglichkeit des Prozesses und die Qualität der Produkte für die Betreiber eine herausragende Rolle.

Seit Beginn der Klinkerproduktion in Drehofenanlagen muss ein guter Wärmeübertrag von der Flamme auf das Brenngut erzielt werden. Die Drehofenbrenner wurden für einen hocheffizienten Wärmeübertragungsprozess auf das Brenngut, angepasst an die jeweilig eingesetzten Brennstoffe, entwickelt. Aufgrund der vergleichsweise einfachen Verbrennung fossiler Energieträger wurden anfangs Brenner für Erdgas, Heizöl und Kohle konstruiert. Die Preisentwicklung führte zu einem Wechsel weg von Kohlenstaub hin zu schwerem Heizöl und Petrolkoks. In den 1980er Jahren wurde wegen ihrer ökonomischen und umweltrelevanten Vorteile begonnen, flüssige und feste Sekundärbrennstoffe mitzuverbrennen. Da sich diese Brennstoffe in ihrer Beschaffenheit und Verbrennungseigenschaften stark von den bisher eingesetzten Brennstoffen unterscheiden, können sie erst nach einer angemessenen Aufbereitung als Sekundärbrennstoffe im Klinkerbrennprozess eingesetzt werden. Die Unterschiede in der Beschaffenheit und in den Verbrennungseigenschaften betreffen im Wesentlichen

- die Partikelform und -größe,
- den höheren Wassergehalt,
- den Gehalt an Störstoffen,
- den dadurch bedingten niedrigeren Heizwert sowie
- die Viskosität von flüssigen Brennstoffen.

Aufgrund ihrer ökonomischen und umweltrelevanten Vorteile werden diese „neuen Brennstoffe“ zunehmend eingesetzt. Die Betriebserfahrungen der Betreiber zeigen, dass bei hohen Substitutionsraten in der Hauptfeuerung die Anforderungen an die Konstruktion und den Betrieb des Brenners steigen.

Der Sekundärbrennstoffeinsatz begann in den 1980er Jahren mit dem Einsatz von Altöl und Altreifen (im Ofeneinlauf) in konventionellen Drehofenanlagen. Ein Jahrzehnt später wurden zunehmend feste Sekundärbrennstoffe wie aufbereitete Industrie- und Gewerbeabfälle eingesetzt. Durch die zunehmende Einführung der Vorcalciniertechnik in den 1990er Jahren wurden diese Stoffe in großen Mengen im Calcinator eingesetzt. Heute werden Substitutionsraten bis 100 % im Calcinator erreicht.

Die Balken in **Bild 0–1** stellen die Entwicklung der jährlichen Substitutionsrate der fossilen Brennstoffe durch Sekundärbrennstoffe der deutschen Zementindustrie insgesamt dar. Weiter enthält das Bild beispielhaft Sekundärbrennstoffraten am Drehofenbrenner einer Ofenlinie ohne und einer mit Vorcalciniertechnik. In einer konventionellen Ofenlinie folgt die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in der Drehofenfeuerung dem Trend des Gesamtdurchschnitts. In der Vorcalcinieranlage startet die Nutzung von Sekundärbrennstoffen in der Drehofenfeuerung später und erreicht bisher einen geringen Anteil an der Feuerungswärmeleistung. Während in Vorcalcinieranlagen die Potenziale zur weiteren Steigerung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der Drehofenfeuerung größer sind, liegt in konventionellen Anlagen die Herausforderung in der Maximierung des Sekundärbrennstoffeinsatzes.

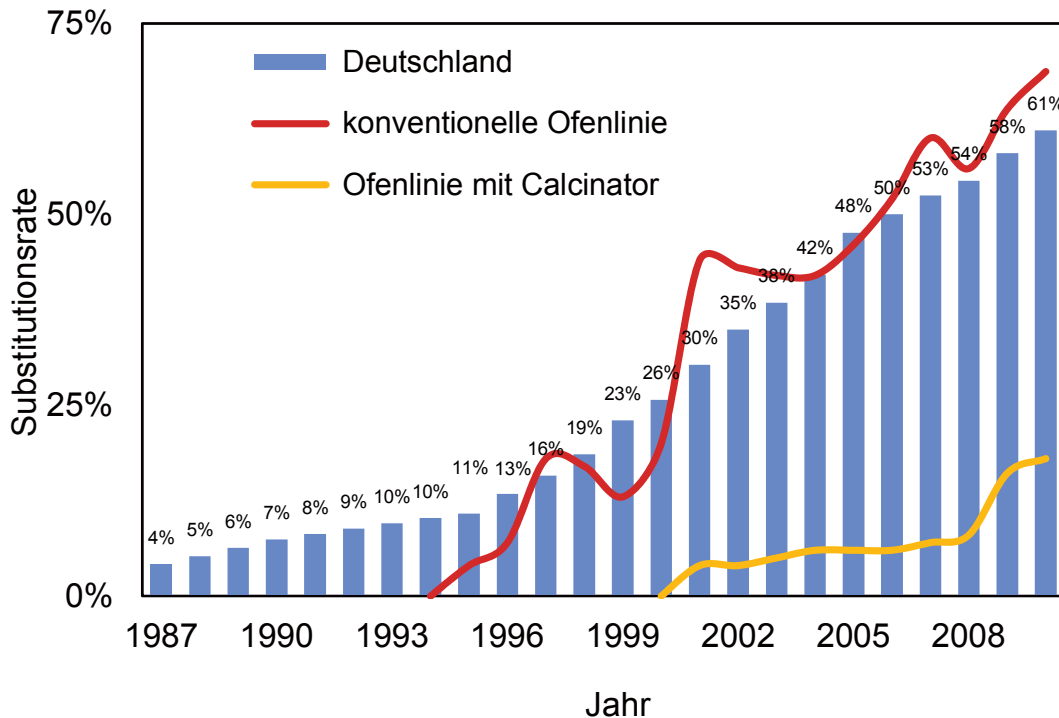


Bild 0–1 Gesamtsubstitutionsrate an Sekundärbrennstoffen in der deutschen Zementindustrie sowie die Nutzung von Sekundärbrennstoffen in der Drehofenfeuerung beispielhaft in einer Ofenlinie ohne und einer mit Vorcalciniertechnik (VDZ 2009, WIRTHWEIN UND EMBERGER 2009; erweitert durch VDZ 2011)

In ihrer Entwicklung erfuhren die Drehofenbrenner einige signifikante Fortschritte in ihrer Anpassung an die jeweils eingesetzten Brennstoffe. Moderne Drehofenbrenner sind durch eine Vielzahl von Lanzen, Rohren und Ringkanälen charakterisiert, die flexibel die Verbrennung von festen (grobstückigen und gemahlenden), flüssigen (unterschiedlicher Viskositäten) sowie gasförmigen Brennstoffen ermöglichen. Aktuell sind neue oder modifizierte Drehofenbrenner in Zementwerken mit dem Ziel, den Sekundärbrennstoffeinsatz in der Drehofenfeuerung weiter zu steigern oder zu optimieren, installiert. Die Anlagenbetreiber verfügen über weitreichende Betriebserfahrungen, jedoch sind Kenntnisse über eine optimale Brennerauslegung oder eine optimale Betriebsweise des Drehofenbrenners bei hohem Sekundärbrennstoffeinsatz nicht eindeutig oder allgemein abgesichert. Daher hat der Ausschuss „Umwelt und Verfahrenstechnik“ des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. im Jahr 2008 einen Arbeitskreis „Drehofenbrenner“ mit folgender Aufgabenstellung eingerichtet:

- Austausch und Diskussion der Betriebserfahrungen mit neuen oder modifizierten Drehofenbrennern
- Auswirkungen des Drehofenbrenners auf die Klinkerqualität, Sekundärbrennstoffeinsatz, Verschleißschutz, Ausbrand/CO, NO_x-Emissionen und Ofenbetrieb
- Diskussion mit Brennerherstellern zum „optimalen“ Brennerdesign und -betrieb
- Erarbeitung allgemeingültiger Regeln für einen optimalen Sekundärbrennstoffeinsatz in der Hauptfeuerung
- Begleitung des Forschungsvorhabens „Optimierung der Hauptfeuerung bei maximalen Sekundärbrennstoffeinsatz“ des Forschungsinstituts der Zementindustrie

Das Merkblatt ist aus der Gemeinschaftsarbeit der Mitglieder des Arbeitskreises, die von den Mitgliedswerken des Vereins Deutscher Zementwerke e. V. entsandt wurden, entstanden.

Ein besonderer Dank gilt den Brennerherstellern (in alphabetischer Reihenfolge)

- FCT Combustion, Thebarton (Australien),
- FLSmidth, Kopenhagen (Dänemark),
- GRECO Equipamentos Termointerindustriais, São Paulo (Brasilien),
- KHD Humboldt Wedag, Köln (Deutschland),
- PILLARD FEUERUNGSSYSTEME, Taunusstein (Deutschland),
- Polysius, Beckum (Deutschland),
- ROCKTEQ International, Illertissen (Deutschland) und
- Unitherm Cemcon Feuerungsanlagen, Wien (Österreich)

für die wertvollen Gespräche sowie die Freigabe von Bildmaterial für dieses Merkblatt. Ein weiterer Dank gebührt der aixergee process optimization und dem Lehrstuhl für Energieanlagen und Energieprozesstechnik der Ruhr-Universität Bochum für den Gedankenaustausch zum Verbrennungsverhalten von Sekundärbrennstoffen. Insbesondere wird an dieser Stelle auch allen Mitgliedern des Arbeitskreises gedankt, die zum erfolgreichen Gelingen dieses Merkblatts beigetragen haben. Der Stand der Technik für Drehofenfeuerungen für den Sekundärbrennstoffeinsatz und die Ergebnisse der Arbeitskreistätigkeit sind in diesem Merkblatt zusammengefasst und beschrieben.