

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Forschungsvereinigung:      | VDZ Technology gGmbH                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Forschungseinrichtung 1:    | VDZ Technology gGmbH<br>Forschungsinstitut der Zementindustrie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| IGF-Vorhaben-Nr.:           | 22455 N                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Bewilligungszeitraum        | 01.09.2022 – 31.05.2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Veröffentlicht VDZ-Webseite | <a href="https://www.vdz-online.de/wissensportal/forschungsprojekte/optimierung-klinkereffizienter-zemente-mittels-multimodaler-korngroessenverteilung-unter-nutzung-energieeffizienter-produkte-aus-der-separaten-feinstmahlung">https://www.vdz-online.de/wissensportal/forschungsprojekte/optimierung-klinkereffizienter-zemente-mittels-multimodaler-korngroessenverteilung-unter-nutzung-energieeffizienter-produkte-aus-der-separaten-feinstmahlung</a> |

Forschungsthema:

**Optimierung klinkereffizienter Zemente mittels multimodaler Korngrößenverteilung unter Nutzung energieeffizienter Produkte aus der separaten Feinstmahlung**

**Hintergrund und Ziele**

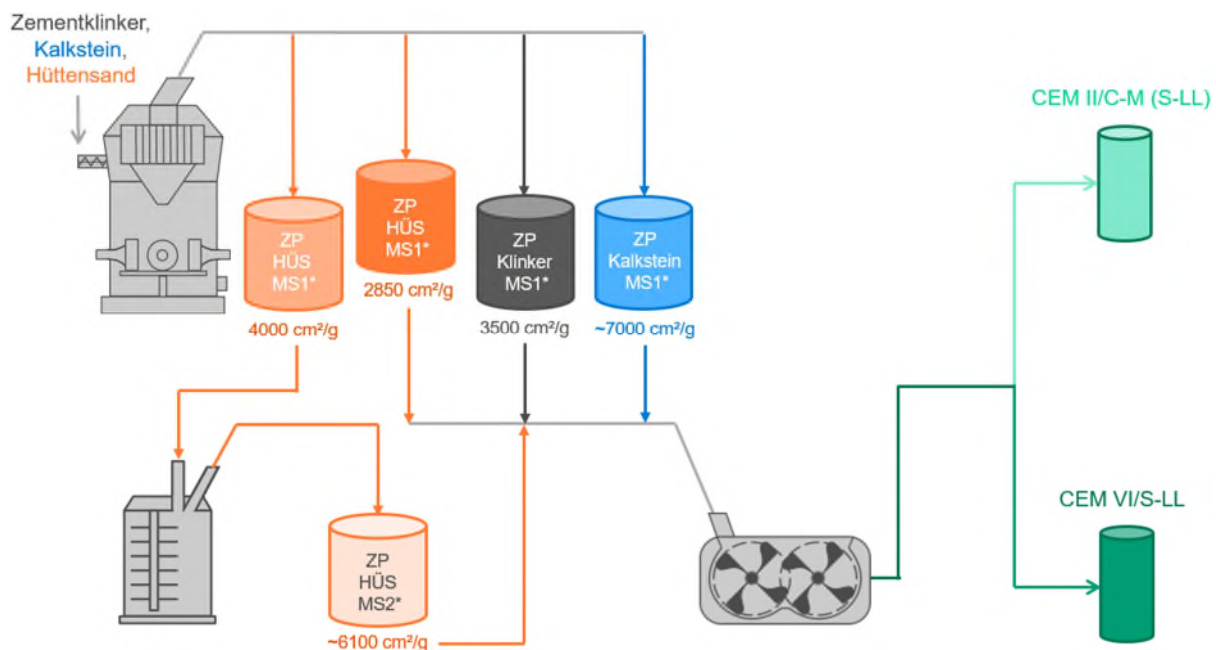
In den bisher bearbeiteten Vorgängervorhaben zur „separaten Feinstmahlung“ (SFM) konnte anhand von Portland-Zementen und Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen gezeigt werden, dass durch separate Feinstmahlung, die Korngrößenverteilung (KGV) von qualitativ hochwertigen Kugelmühlzementen nachgebildet werden kann. Für den zweistufigen Ansatz der separaten Feinstmahlung konnte mittels semi-industrieller Umsetzung zudem ein geringerer spezifischer Energiebedarf ermittelt werden. Eine gezielte Optimierung der Zement- und Betoneigenschaften wurde bisher noch nicht verfolgt. Da klinkereffiziente Zemente auf dem deutschen Zementmarkt aufgrund der aktuell geforderten Klimaschutzziele zukünftig einer wachsenden Nachfrage unterliegen werden und diese durch verstärkte Klinkersubstitution die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich reduzieren, wurde in diesem Nachfolgeprojekt ein besonderer Fokus auf die separate Feinstmahlung von Klinker, Kalkstein und Hütensand zur Erzeugung von CEM II/C- und CEM VI-Zementen gelegt. Dabei stand eine gezielte Optimierung der Zement- und Betoneigenschaften im Mittelpunkt. Durch den Freiheitsgrad der separaten Feinstmahlung besteht die Möglichkeit, die Zementhauptbestandteile auf Grundlage ihrer hydraulischen Aktivität in einer entsprechenden Feinheit zu mischen und die Eigenschaften der Zemente zu beeinflussen. Die resultierende KGV des klinkereffizienten Zements muss dabei nicht zwingend einer RRSB-Verteilung folgen, sodass das hydraulische Potential der einzelnen Hauptbestandteile vollumfänglich genutzt werden kann.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben konnte gezeigt werden, dass sich die Zement- und Betoneigenschaften mit Hilfe einer geeigneten Mahl- und Mischstrategie mittels separater Feinstmahlung optimieren lassen. Die Optimierung ist hierbei anhand des spezifischen

elektrischen Energiebedarfs der Mahlung sowie einem möglichst positiven Verlauf der Druckfestigkeit erfolgt. Als Referenz zur separaten Feinstmahlung wurde eine Kugelmühle im geschlossenen Kreislauf mit dynamischem Siebherangezogen.

### Vorgehensweise

Anhand einer zuvor definierten Rezeptur wurden aus den Kugelmühlenprodukten Referenzmörtel und -betone aus CEM II/C-M (S-LL)- bzw. CEM VI/S-LL-Zementen hergestellt, die als Vergleichsbasis für die separate Feinstmahlung dienten. Die zweistufige separate Feinstmahlung erfolgte im 1. Mahlschritt mittels semi-industrieller Vertikalwälmühle (VWM), wobei auch hier alle Komponenten separat gemahlen wurden. Im 2. Mahlschritt wurde zum Zweck der Feinstmahlung des Hüttensands eine semi-industrielle Rührwerkskugelmühle (RWKM) verwendet (**Abbildung 1**). Anhand einer geeigneten Mischstrategie der separaten Feinstmahlung, die sowohl den Energiebedarf der Zementmischung als auch den Festigkeitsverlauf berücksichtigt, wurden verschiedene Zementmischungen mit einer Ausfallkörnung des Hüttensands hergestellt, wodurch zum Teil stark multimodale Korngrößenverteilungen entstanden. Als Ausfallkörnung wurde hier eine Mischung sowohl grober, als auch hochfeiner Hüttensande definiert, die dem entsprechenden Zement in unterschiedlichen Feinheiten und Anteilen zugemischt wurden. Die Mischungen aus der separaten Feinstmahlung unterscheiden sich gegenüber den Referenzen lediglich in der Mischstrategie des Hüttensands. Die Korngrößenverteilungen des Klinkers und Kalksteins entsprachen denen aus der Kugelmühlenproduktion.



**Abbildung 1** Schematisches Konzept der separaten Feinstmahlung zur Mischung von CEM II/C-M (S-LL) und CEM VI/S-LL.

Insgesamt wurden für den CEM II/C-M (S-LL) und den CEM VI/S-LL 28 Zementmischungen erzeugt, charakterisiert und auf ihre Zementeigenschaften hin untersucht (Wasseranspruch, Biegezug- bzw. Druckfestigkeiten und Erstarrungsverhalten). Zudem wurden die anhand der durch separate Feinstmahlung und Mischung optimierten Zemente als auch die Referenzzemente aus der Kugelmühle in Betonversuchen weiter untersucht. Dabei wurden Druck- und Biegezugfestigkeiten der Betone ermittelt und die Ergebnisse mit dem jeweiligen

Referenzbeton gegenübergestellt. Darüber hinaus wurde zudem die Dauerhaftigkeit der Betone untersucht (Würfelfrost, Frost-Taumittel-Widerstand und Karbonatisierungsrate und -tiefe).

## **Ergebnisse**

Die Ergebnisse der Zementeigenschaften zeigten, dass sich mittels separater Feinstmahlung und Mischung CEM II/C-M- bzw. CEM VI-Zemente erzeugen lassen, deren Festigkeitsverläufe denen der Referenzzemente der Kugelmühle entsprachen. Allerdings konnte bei vergleichbaren Festigkeiten ein Energieeinsparpotential von rund 30% im Vergleich zur Kugelmühle ermittelt werden. Wird das Energieeinsparpotential durch das Zumischen höherer Anteile an hochfeinem Hüttensand aufgebraucht, ließen sich die Druckfestigkeiten beider Zementarten im Schnitt um ~21% (2 Tage), ~26% (7 Tage) und ~19% (28 Tage) steigern. Das bedeutet, dass mit demselben Gesamtenergieeintrag in das Material höhere Druckfestigkeiten erzielt werden konnten, wenn anstatt einer konventionellen Kugelmühle die Mahlstrategie der separaten Feinstmahlung und Mischung verwendet wurde.

Hinsichtlich des Frost-Widerstands der untersuchten Betone konnte festgestellt werden, dass die Betonprüfkörper mit den optimierten Zementen der separaten Feinstmahlung durchgehend eine höhere Dauerhaftigkeit aufweisen als die entsprechenden Referenzbetone. Im Gegensatz zu den Ergebnissen des Würfelfrosts sind die Resultate des Frost-Taumittel-Widerstands weniger eindeutig. Teilweise zeigten die Referenzbetone bessere oder vergleichbare Dauerhaftigkeiten im Vergleich zu den Betonen mit Zementen der separaten Feinstmahlung (CDF-Verfahren). Die Trends aus den Zementmörtelversuchen, dass durch den Einsatz optimierter, multimodal verteilter SFM-Zemente höhere Druckfestigkeiten erreicht werden konnten, fanden sich zu einem Großteil auch in den Betondruckfestigkeiten wieder.

## **Förderhinweis**

Das IGF-Vorhaben Nr. **22455 N** der VDZ Technology gGmbH, Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.