

Kurzzusammenfassung des Abschlussberichts

Reduzierung der Umweltwirkung der Betonbauweise durch neuartige Zemente und daraus hergestellter Betone unter Verwendung hinreichend verfügbarer Ausgangsstoffe

1 Ziel

Ziel des Forschungsvorhabens war die labor- und werkseitige Entwicklung von Zementen mit Kalksteingehalten jenseits der in der Zementnorm DIN EN 197-1 beschriebenen Maximalgehalte, um die Umweltwirkung der Betonbauweise zu reduzieren. Grundvoraussetzung war dabei die Gleichwertigkeit der technischen Eigenschaften der aus diesen Zementen hergestellten Betone. Es wurden Kalksteingehalte zwischen 35 M.-% und 70 M.-%, bezogen auf den sulfatträgerhaltigen Zement, verwendet. Die chemisch-mineralogische Zusammensetzung der eingesetzten Kalksteine umfasste die gesamte Bandbreite der DIN EN 197-1 (75 M.-% bis 100 M.-% CaCO_3).

Die Auswirkung der Klinkerreduzierung im Zement in Abhängigkeit der Eigenschaften des Kalksteins als weiterem Hauptbestandteil auf die Festigkeitsentwicklung und die Dauerhaftigkeit von Beton wurde untersucht. Im Zentrum stand die Frage, in wieweit den Auswirkungen der Klinkersubstitution im Zement durch Optimierung der Korngrößen- und Komponentenverteilung sowie der Anpassung der Betontechnologie unter Laborbedingungen und unter praxisnahen Bedingungen begegnet werden kann.

2 Einbettung in die derzeitige Forschungslandschaft

Im Forschungsvorhaben galt es, vielfältige Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Einflussgrößen auf die technische und ökologische Qualität von Betonen mit klinkerreduzierten Zementen zu untersuchen und diesbezüglich ein Optimum zu finden. Bisherige Forschungsaktivitäten konzentrierten sich auf die Entwicklung neuer Zemente für normativ geregelte Betonrezepturen oder auf die Optimierung der Betontechnologie bei Verwendung konventioneller Zemente. In diesem Forschungsvorhaben wurden beide Wege zusammengeführt, um die technischen, ökologischen und ökonomischen Chancen und Grenzen auszuloten. Über die üblichen Materialprüfungen hinaus wurden die entwickelten Zementzusammensetzungen und Betonrezepturen sowohl im Zementwerk als auch im Transportbetonwerk auf die Praxistauglichkeit hin überprüft.

3 Technische Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass sich Zement mit 50 M.-% Kalkstein grundsätzlich zur Herstellung hinreichend dauerhafter Konstruktionsbetone eignet, wenn die Betontechnologie angepasst wird. Sowohl die Frischbetoneigenschaften als auch die mechanischen und Dauerhaftigkeitseigenschaften der Betone mit klinkerreduzierten Zementen sind mit denen von normgemäß (DIN 1045-2) zusammengesetzten Referenzbetonen vergleichbar.

Einige Laborversuche mit Zementen, die einen definierten Kalksteintyp in Kombination mit einem definierten Fließmittel beinhalteten, zeigten, dass nicht nur auf die Abstimmung der Zementhauptbestandteile untereinander sondern insbesondere auch auf die Wechselwirkungen mit Zusatzmitteln zu achten ist.

Ein praxisnaher Betonierversuch ergab, dass Betone mit klinkerreduziertem Zement bei sorgfältiger Einstellung des Wassergehaltes, der Fließmitteldosierung und der Sieblinie der Gesteinskörnung auf der Baustelle robust herstellbar sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die Herstellung und Verwendung kalksteinreicher Zemente bis 50 M.-% Kalkstein anspruchsvolle verfahrenstechnische Maßnahmen im Zementwerk und ebenso anspruchsvolle betontechnologische Maßnahmen (wasserarmer Beton mit entsprechenden Zusatzmitteldosierungen) in der Betonherstellung erforderlich sind. Werden diese Maßnahmen unter Praxisbedingungen beherrscht, können gleichwertige und robuste Betonzusammensetzungen realisiert werden, die ökologische Vorteile aufweisen.

4 Ökobilanzielle Bewertung der Ergebnisse

Durch eine Substitution des Portlandzementklinkers durch Kalkstein im Zement können die ökologischen Wirkungen signifikant reduziert werden. Betone mit niedrigeren Wasserzementwerten mit den kalksteinreichen Zementen weisen bei gleicher Leistungsfähigkeit (Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit) deutlich günstigere Werte in den wichtigsten ökobilanziellen Wirkungskategorien auf. Das Treibhauspotential eines Betons mit einem Zement mit 50% Kalksteinanteil liegt ca. 25 % unter dem Treibhauspotential eines Betons mit durchschnittlichem deutschen EPD-Zement (**Bild 1**).

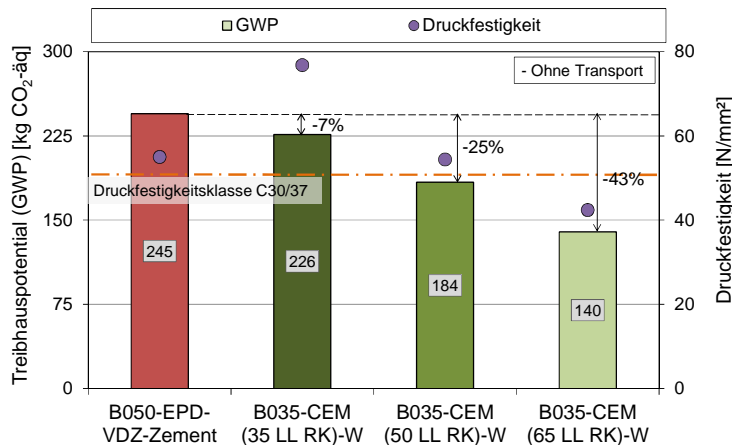


Bild 1 Vergleich des Treibhauspotentials der Betone aus durchschnittlichem deutschen Zement (EPD) und klinkerreduzierten Zementen

5 Weiterer Forschungsbedarf

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem abgeschlossenen Forschungsvorhaben zeigen, dass eine weitere ökologische Optimierung der Zementzusammensetzung nur unter Einbeziehung einer reaktiven Komponente möglich ist. Hier bietet sich Hüttensand an, der in Deutschland im Wesentlichen der Zementindustrie zur Verfügung steht, jedoch nur begrenzt verfügbar ist. Dem entsprechend muss der ökologisch und technisch hochwertige Hüttensand im Zement besonderes effizient eingesetzt werden. Für die Realisierung innovativer dreikomponentiger Zementzusammensetzungen ist es erforderlich, die Abhängigkeiten zwischen der Zementzusammensetzung, der Wechselwirkung mit Fließmitteln und den resultierenden Auswirkungen auf die Betoneigenschaften wissenschaftlich zu erforschen. Damit kann eine weitere Reduzierung der Umweltwirkungen der Betonbauweise erreichen werden.

6 Veröffentlichungen

- [1] C. Müller und S. Palm, „Cement grades with a low portland cement clinker ratio for the concretes of the future: Zemente mit geringem Portlandzementklinkeranteil für die Betone der Zukunft,“ Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie, BDB (Hrsg): 55. BetonTage, Kongressunterlagen : Nachhaltige Innovationen. - Gütersloh: Bauverl., 2011, Bd. , Nr. , pp. 86-89, 2011.
- [2] S. Palm und C. Müller, „Zemente mit erhöhten Kalksteingehalten: Festigkeitsentwicklung und Dauerhaftigkeit,“ Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.-15. September 2012, Weimar ; Tagungsbericht Bd. 1. - Weimar, 2012 (ibausil : 18), Bd. , Nr. , pp. 200-205, 2012.
- [3] S. Palm und C. Müller, „Strength and durability gain in cements with high limestone content,“ Cement (russ.), Bd. , Nr. 2, pp. 36-39, 2013.
- [4] T. Proske, M. Rezvani, S. Hainer und C.-A. Graubner, „Highly Workable Eco-friendly Concretes – Influence of Constituents on the Rheological Properties,“ in Rheology and Processing of Construction Materials - Proceedings of the 7th RILEM Conference on Self-Compacting Concrete and the 1st International RILEM Conference on Rheology and Processing of Construction Materials, RILEM Publications PRO 90, Paris, France, 2013.

- [5] T. Proske, S. Hainer und C.-A. Graubner, „Klima- und ressourcenschonende Stahlbetonteile durch innovative Betontechnologie,“ in 2013, TU Darmstadt, Tagungsband des 2. Darmstädter Ingenieurkongresses – Bau und Umwelt.
- [6] C. Müller und S. Palm, „Zemente mit erhöhten Kalksteingehalten - Besondere Anforderungen an Herstellung und Verarbeitung,“ VDZ-Mitteilungen, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Nr. 150, 2012.
- [7] C. Müller und S. Palm, „Zemente mit erhöhten Kalksteingehalten - Festigkeitsentwicklung und Dauerhaftigkeit,“ in VDZ Tätigkeitsbericht 2009-2012, Düsseldorf, Verlag Bau u. Technik, 2012.
- [8] W. Neufert, C. Müller, S. Palm, C.-A. Graubner, T. Proske und S. Hainer, Zemente mit hohen Kalksteingehalten, Präsentation, VDZ Jahrestagung, Düsseldorf, 2012.
- [9] **Palm, Sebastian; Proske, Tilo; Rezvani, Moien; Hainer, Stefan; Müller, Christoph; Graubner, Carl-Alexander. Cements with a high limestone content – Mechanical properties, durability and ecological characteristics of the concrete. Construction and Building Materials. 2016, 119, S.308-318**