



„Ökologisch und technisch optimierte Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen“

Christoph Müller und Katrin Severins

Die Zementindustrie setzt weltweit ca. 5 % der vom Menschen verursachten Kohlendioxidemissionen frei. Bei der Herstellung von Portlandzement (CEM I) sind etwa 60 % der CO₂-Emissionen auf die Entsäuerung des Kalksteins zurückzuführen. Etwa ein Drittel entfällt auf die Brennstoffe beim Brennen des Portlandzementklinkers und je ca. 5 % auf elektrische Energie und Transport.

Ein Weg, den CO₂-Ausstoß zu begrenzen, wird in der Zementindustrie in der zunehmenden Herstellung und Anwendung von klinkerärmeren Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen (z. B. CEM II und CEM III) gesehen. Dabei werden neben dem Portlandzementklinker insbesondere die Hauptbestandteile Hüttensand S, Steinkohlenflugasche V und Kalkstein LL; seltener z. B. Silicastaub D, gebrannter Schiefer T bzw. natürliche Puzzolane P, eingesetzt. Mit abnehmendem Klinkeranteil im Zement, also einem abnehmenden Klinker / Zement - Faktor, sinken die Gesamtemissionen von CO₂ pro Tonne Zement deutlich.

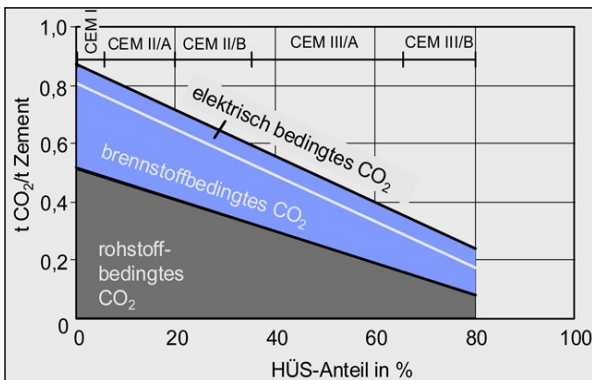


Abbildung 1: CO₂-Reduzierung bei der Zementherstellung durch Verwendung des Hauptbestandteils Hüttensand (HÜS) und Verringerung des Klinkeranteils

Am Beispiel der hüttensandhaltigen Zemente zeigt die folgende Abbildung 1 die spezifischen CO₂-Emissionen, die mit der Herstellung dieser Zemente verbunden sind. Dabei wird deutlich, dass mit zunehmendem Hüttensandgehalt die spezifischen CO₂-Emissionen pro Tonne Zement deutlich abnehmen. Dieser Zusammenhang gilt im Übrigen nicht nur für die CO₂-Emissionen, in ähnlicher Weise verringert sich der Einsatz natürlicher Rohmaterialien oder der Bedarf an Brennstoffenergie bei zunehmendem Hüttensandgehalt.

Auf der Basis regional verfügbarer Rohstoffe werden somit in Deutschland bereits seit vielen Jahren leistungsfähige Zemente für eine sichere Betonbauweise hergestellt. Insofern hat die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen eine

lange und erfolgreiche Tradition. Ein Großteil dieser Zemente darf in zahlreichen Expositionsklassen angewendet werden. (Expositionsklassen beschreiben die zu erwartenden Umwelteinwirkungen und sind für die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken von großer Bedeutung.) Aktuell dürfen folgende Zementarten in allen Expositionsklassen verwendet werden:

- Portlandhüttenzemente CEM II/A-S und CEM II/B-S
- Portlandschieferzemente CEM II/A-T und CEM II/B-T
- Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL bzw. Portlandkalksteinzement CEM II/B-LL als allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Anwendungszulassung AZ)
- Portlandflugaschezemente CEM II/A-V und CEM II/B-V
- Portlandkompositzement CEM II/A-M mit den weiteren Hauptbestandteilen S, LL, T, D *) bzw. V
- Portlandkompositzemente CEM II/B-M mit S, T, V, D *), als allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Anwendungszulassung AZ)
- Hochofenzemente CEM III/A **)

*) (D-V) nicht in XF2/XF4

***) Expositionsklasse XF4: CEM III/A der Festigkeitsklasse = 42,5 N oder der Festigkeitsklasse 32,5 R mit bis zu 50 M.-% Hüttensand

Die Herstellung von Zementen mit höherem Anteil anderer Hauptbestandteile neben Klinker wird jedoch durch die Verfügbarkeit dieser Hauptbestandteile bzw. durch normative Beschränkungen in der Anwendung solcher Zemente begrenzt. Die verfügbaren Mengen an Hüttensand bzw. Steinkohlenflugasche sind abhängig von der Stahlproduktion bzw. der durch die Verbrennung von Steinkohle bereitgestellten Strommenge im nationalen Energiemix. Kalkstein steht zwar in praktisch unbegrenzten Mengen standortnah zur Verfügung, jedoch darf derzeit nur der CEM II/A-LL-Zement mit bis zu 20 % Kalkstein ohne Anwendungsbeschränkungen im Beton eingesetzt werden. Zemente mit einem höheren Anteil an Kalkstein (CEM II/B-LL) bzw. weiteren Hauptbestandteilen neben Klinker und Kalkstein (CEM II-M) benötigen für die Anwendung im Beton eine allgemeine bauaufsichtliche Anwendungszulassung. Damit wird der Nachweis erbracht, dass diese Zemente und die damit hergestellten Betone die in Deutschland üblichen Leistungsmerkmale aufweisen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Ökologisch und technisch optimierte Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen“ wurden Zemente mit Normzusammensetzungen, aber auch sog. „CEM X-Zemente“ mit Zusammensetzungen außerhalb des Geltungsbereiches der DIN EN 197-1 hergestellt. Die auf Basis dieser Zemente hergestellten Betone wurden labortechnisch auf ihre Leistungsmerkmale (z. B. Druckfestigkeit, Dauerhaftigkeit) untersucht. Die Arbeiten wurden im Rahmen der Fördermaßnahme „klimazwei (www.klimazwei.de) – Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 01LK0502) durchgeführt. Ziel der Arbeiten war unter anderem, CO₂-Minderungspotentiale zu erschließen und die Bandbreite der für die Anwendung zur Verfügung stehenden Zemente zu verbreitern.

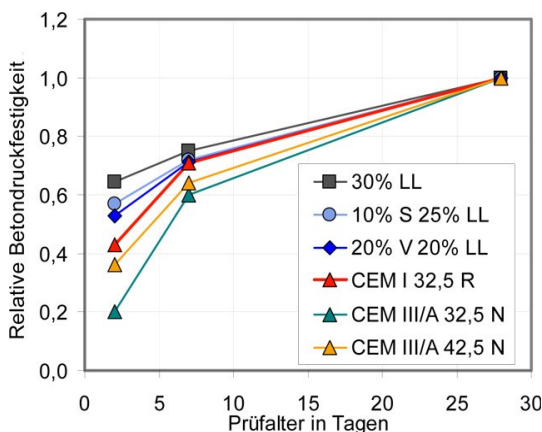


Abbildung 2: Relative Druckfestigkeit von Betonen ($w/z = 0,50 - 0,60$ und $z = 300 - 320 \text{ kg/m}^3$) mit Versuchszementen und CEM III/A-Zementen im Vergleich zum CEM I-Beton

Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Entwicklung der relativen Betondruckfestigkeit unter Verwendung ausgewählter Versuchszemente (CEM II, CEM X) sowie handelsüblicher CEM I- und CEM III/A-Zemente. Die Relativwerte ergeben sich aus dem Bezug der Betondruckfestigkeit im Alter von 2, 7 bzw. 28 Tagen auf die 28-Tage-Druckfestigkeit des Betons. Aus der Abbildung geht hervor, dass die Festigkeitsentwicklung von Betonen mit den Versuchszementen unter baupraktischen Bedingungen mit der von CEM I-Betonen vergleichbar ist bzw. dass im Einzelfall auch eine höhere Frühfestigkeit erreicht werden kann. Zum Vergleich sind ergänzend die Prüfwerte für einen Beton mit CEM III/A 32,5 N enthalten. Die ausgewiesenen Ergebnisse ermöglichen die Einstufung der untersuchten Betone in die schnelle, mittlere bzw. langsame Festigkeitsentwicklung. Dem entsprechend ist hier der Beton mit dem Zement CEM III/A 32,5 N als langsam einzustufen. Demgegenüber weisen die Betone mit den hier untersuchten

Zementen eine mittlere bis schnelle Festigkeitsentwicklung auf. Diese Einstufung ist maßgebend für die Dauer der Nachbehandlung.

Für Zemente, die aufgrund ihrer technischen Eigenschaften für eine großtechnische Produktion geeignet erschienen, wurden beispielhaft die CO₂-Minderungspotentiale analysiert. Dabei wurden aufbauend auf eine Ökobilanz der Zementherstellung, nicht nur die im Zementwerk erzielbaren CO₂-Minderungspotentiale einbezogen, sondern auch die in den Vorketten erzielbaren Minderungen von treibhausrelevanten Gasen betrachtet. Dazu gehörte beispielsweise die Stromherstellung. In die Betrachtung gingen somit die mit der Änderung des Klinkergehaltes einhergehenden Veränderungen in den Emissionen

- beim Klinkerbrennen,
- bei der Bereitstellung der Roh- und Brennstoffe sowie
- bei der Bereitstellung des Stroms für die Mahlanlagen und den Klinkerbrand ein.

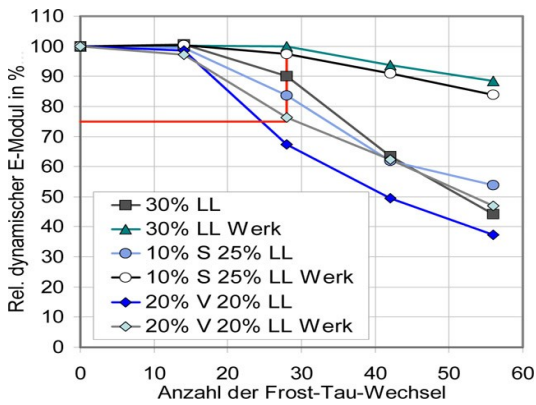


Abbildung 3: Relativer dynamischer E-Modul als Maß für die innere Schädigung von Betonen mit einem Zementgehalt von 320 kg/m³ und einem Wasserzementwert von w/z = 0,50 in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel während der Prüfung des Frostwiderstandes nach dem CF/CIF-Verfahren

Darüber hinaus wurden die bei der Zementherstellung bestehenden Änderungen - z. B. bei der Strombereitstellung für die Zementmahlung - aber auch bei Bereitstellung anderer Zementbestandteile berücksichtigt.

Für die Berechnung der CO₂-Minderungspotentiale wurde ein Portlandzement CEM I der Festigkeitsklasse 42,5 N mit einem Versuchszement aus dem o. g. Forschungsvorhaben verglichen. Der Versuchszement, ein Portlandkalksteinzement mit 30 M.-% Kalkstein (vgl. Abbildung 3, hier als 30 % LL Werk dargestellt) entsprach einem CEM II/B-LL der Festigkeitsklasse 42,5 R. In den mit diesem Zement durchgeführten Betonversuchen zu dauerhaftkeitsrelevanten Eigenschaften waren alle derzeit gängigen Leistungsmerkmale erfüllt worden. So wurde z. B. in der Prüfung des Frostwiderstandes nach dem CF/CIF-Verfahren das Bewertungskriterium für die inneren Schädigungen an Betonen - hier als relativer dynamischer E-Modul von 75 % nach 28 Frost-Tau-Wechseln dargestellt - eingehalten.

Es wurde jeweils der mit der Herstellung verbundene Beitrag zum Treibhauseffekt in CO₂-Äquivalenten pro Tonne Zement berechnet. Dabei wurden der jeweilige konkrete Werksstandort und die Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe vor Ort betrachtet. Im Vergleich zum Portlandzement

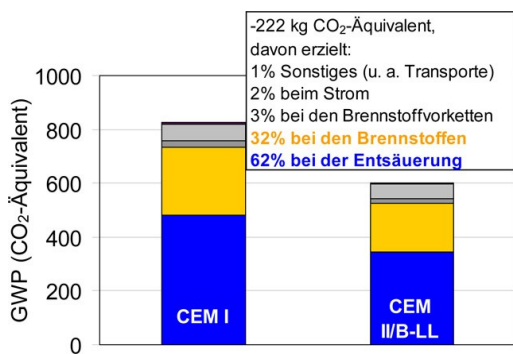


Abbildung 4: Treibhauspotential zur Herstellung von 1t Zement, hier Portlandzement CEM I 42,5 N verglichen mit Portlandkalksteinzement CEM II/B-LL 42,5

wies der o. g. Versuchszement eine Minderung von Treibhausgasemissionen von 222 kg CO₂-Äquivalent pro Tonne Zement aus, was im Vergleich einer Reduzierung von 27 % entspricht. Dieses Ergebnis wird im Wesentlichen durch die Verminderung von CO₂-Emissionen bei der Entsäuerung (62 %) sowie bei der Verbrennung der beim Klinkerbrand benötigten Energieträger (32 %) bewirkt. Geringe zusätzliche Minderungsbeiträge entstehen durch die Verminderung der Transporte, durch einen etwas geringeren Stromverbrauch sowie bei den Brennstoffvorketten.

Aus dem Beispiel (siehe Abbildung 4) geht hervor, dass durch eine erfolgreiche Markteinführung des hier untersuchten Zements signifikante CO₂-Minderungspotentiale realisiert werden könnten. Inwieweit dies im Einzelfall möglich ist, hängt von der Akzeptanz im Markt und von der Verfügbarkeit

der eingesetzten Stoffe ab. Zudem ist zu berücksichtigen, dass dieses Beispiel nicht ohne weiteres bezogen auf andere Standorte verallgemeinert werden kann. Vielmehr sind bei der Entwicklung und Einführung solcher Zemente die Gegebenheiten am jeweiligen Standort zu berücksichtigen.

Kontakt:	Schlauer Fuchs	
	<p>Dipl.-Ing. Katrin Severins Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie Abteilung Betontechnik Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf Tel.: +49 (0)211 4578-253 Fax: +49 (0)211 4578-219 E-Mail: sv@vdz-online.de</p>	<p>Unsere Schlaue-Fuchs-Frage zu diesem Beitrag lautete:</p> <p>Was versteht man bei Zementen unter Expositionsklassen und was beschreiben diese?</p>
	<p>Dr.-Ing. Christoph Müller Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie Abteilung Betontechnik Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf Tel.: +49 (0)211 4578-253 Fax: +49 (0)211 4578-219</p>	
	<p>http://www.vdz-online.de/</p>	