

Ein neuer Zement als Win-win-Situation sowohl für Zement- und Betonhersteller als auch für Konsumenten und Umwelt

Text | Stefan Krispel, Peter Nischer, Martin Peyerl, Jürgen Macht

Bilder und Grafiken | © VÖZfi

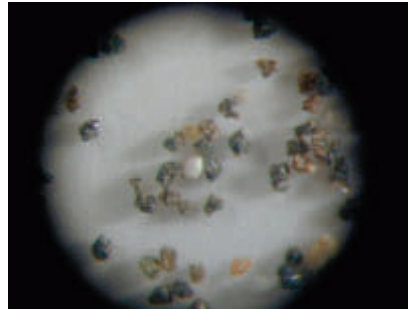
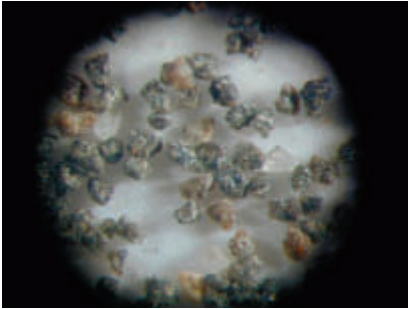


Bild 2-1: Zementkörner > 0,09 mm (links) und > 0,063 mm (rechts); der Bildausschnitt beträgt jeweils 1,3 mm

1. Problemstellung

Bei der Klinkerproduktion in den 250 europäischen Zementwerken werden 700 bis 1.200 kg CO₂/t hergestelltem Klinker emittiert. Die gemäß EC-Direktive 2009/29 Art. 10a(2) ermittelte Benchmark der besten 10 Anlagen in der EU beträgt 766 kg CO₂/t Klinker, der Mittelwert der österreichischen Zementwerke betrug im Jahr 2010 796 kg CO₂/t Klinker. Hiervon sind etwa 530 kg CO₂/t Klinker Prozessemissionen, die durch die Entsäuerung des Kalksteines entstehen. Eine CO₂-Einsparung beim Entsäuerungsprozess ist nicht möglich. Die restlichen CO₂-Emissionen sind energiebürtige Emissionen (Brennstoff, Strom etc.). Das CO₂-Einsparpotenzial bei der Klinkerproduktion ist entsprechend klein. Die Differenz zwischen dem Mittelwert des CO₂-Anfalls und der europäischen Benchmark bedeutet für die österreichische Zementindustrie eine spürbare Unterdeckung mit benötigten Zertifikaten, wenn der CO₂-Anfall bei der Zementproduktion nicht durch geeignete Maßnahmen reduziert werden kann.

Ziel des von der FFG^[1] geförderten Projektes war die Klärung, wie ein Zement mit geringerem CO₂-Anfall bei Einhaltung der relevanten mörteltechnischen Anforderungen gemäß Zementnorm^[2] und der Beständigkeitsanforderungen

gemäß Betonnorm^[3] zusammengesetzt sein muss und der mit den in den Zementwerken vorhandenen Anlagen hergestellt werden kann.

2. Einfluss der Korngrößenverteilung auf den Beton

Die Korngrößenverteilung des Mehlkorns (Korn < 0,125 mm: Zement, Zusatzstoffe, feine Anteile der Gesteinskörnung) und der Gesteinskörnung im Beton bestimmt im Wesentlichen den Wasseranspruch und die Verarbeitbarkeit des Frischbetons. Bild 2-1 zeigt Zementkörner > 0,09 mm und > 0,063 mm im Auflicht bei 100-facher Vergrößerung.

Ziel einer Optimierung der Korngrößenverteilung ist die Erhöhung der Packungsdichte (Verringerung des Hohlraumgehaltes). Zur Reduktion des Hohlraumgehaltes und damit auch des Wasseranspruches muss das Schlupfkorn (kleineres Korn, das zwischen dem jeweils größeren Platz findet) in entsprechender Menge, Kornform und Korngrößenverteilung vorhanden sein. Eine günstige Korngrößenverteilung verbessert auch die Eigenschaften des erhärteten Betons. Der Bereich für die günstige (optimierte) Korngrößenverteilung ist in Bild 3-3 eingezeichnet.

3. Eigenschaften des Betons

3.1 Allgemeines

Bei den aktuellen Produktionsverfahren sind zwei wesentliche Parameter die Zusammensetzung und die Mahlfineinheit des Zements. Die Korngrößenverteilung wird bei der Mahlung nicht gezielt gesteuert, wiewohl in der Theorie deren Einfluss auf die Eigenschaften von Zement bekannt ist.

Bild 3-1 stellt die Korngrößenverteilung von einem konventionellen CEM II/A-S 42,5 N und von einem CEM II/A-S mit optimierter Korngrößenverteilung dar.

Der Zementstein ist umso dichter, d. h. weist eine geringere Gesamtporosität auf, je niedriger der W/B-Wert und umso höher das Betonalter ist. Bei einem Zement mit optimierter Korngrößenverteilung entstehen bei der Hydratation mehr feine und weniger grobe Poren. Bild 3-2 zeigt, dass Beton mit einem derart optimierten Zement bei gleichem Hydratationsgrad (gleiche Gesamtporosität) durch die größere Anzahl an feinen Poren und die geringere Anzahl an groben Poren eine um etwa 40 % höhere Druckfestigkeit aufweist als der Beton mit dem handelsüblichen Zement.

Bild 3-1: Korngrößenverteilung (FPIA) von handelsüblichem CEM II/A-S 42,5 N und des neuen Ökozementes

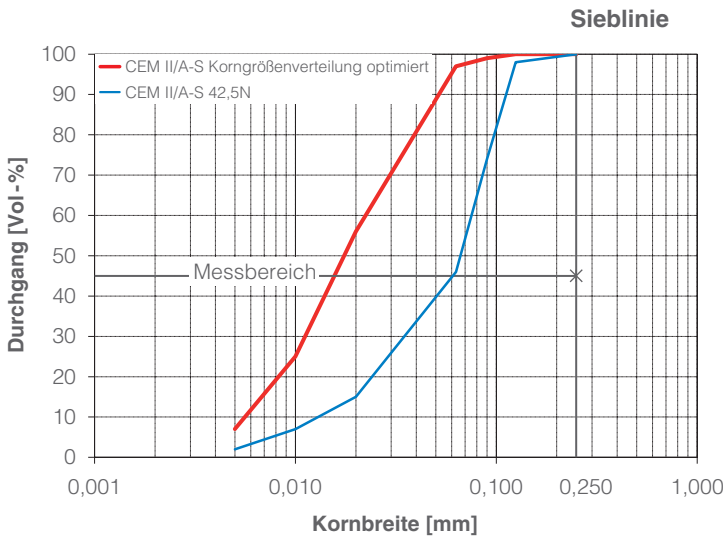


Bild 3-2: Druckfestigkeit in Abhängigkeit von der Gesamtporosität

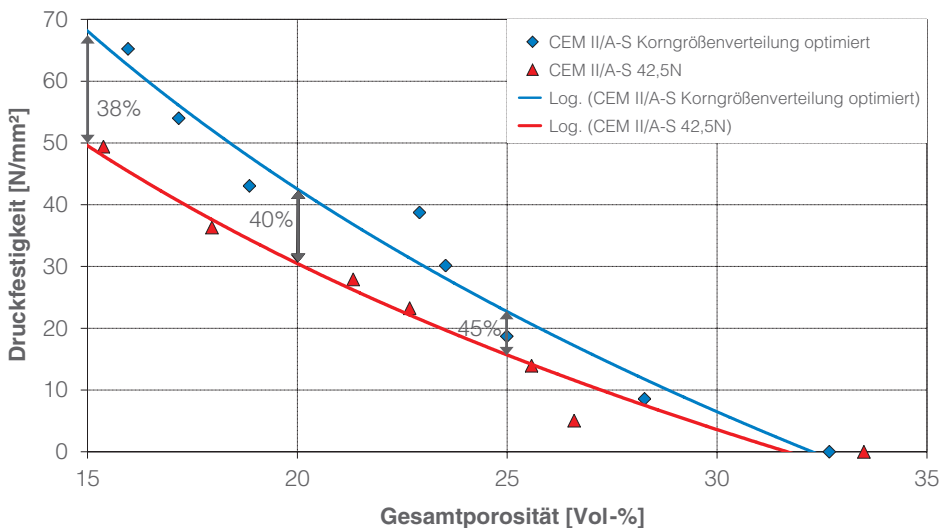
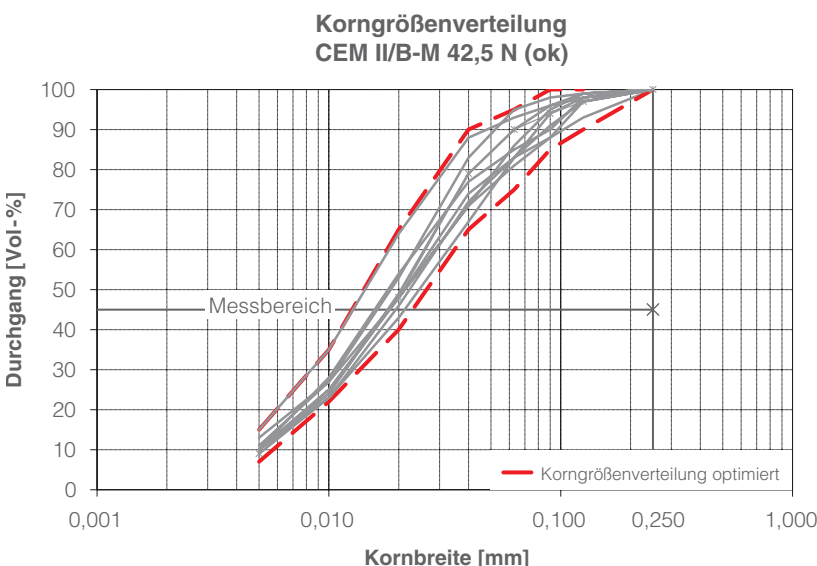


Bild 3-3: Korngrößenverteilung (FPIA) von Zementen CEM II/B-M (S-L) 42,5 N (ok) und CEM II/B-M (T-L) 42,5 N (ok) – aus Gründen der Lesbarkeit als der neue Ökozement bezeichnet



3.2 Betoneigenschaften des neuen Ökozementes

Untersucht wurden die Eigenschaften von Betonen, die in ihrer Zusammensetzung den Anforderungen der Betonnorm ^[4] für die jeweilige Umweltbelastung entsprechen. Die Herstellung der Betone erfolgte mit in der Korngrößenverteilung optimierten Zementen CEM II/BM 42,5 N (CEM II/B-M(S-L) 42,5 N [ok] bzw. CEM II/BM[TL] 42,5 N [ok]) aller österreichischen Zementhersteller (siehe Bild 3-3) – in der Folge werden diese aus Gründen der Lesbarkeit als der „neue Ökozement“ bezeichnet.

Die Untersuchungen erstreckten sich sowohl auf die Eigenschaften von Betonen, die allein mit diesen Zementen hergestellt wurden, als auch auf die Eigenschaften von Betonen, bei denen 10 % bzw. 20 % des Bindemittels durch aufbereitete, hydraulisch wirksame Zusatzstoffe (AHWZ) ersetzt wurden. Die Anrechnung der AHWZ für die Berechnung des W/B-Wertes erfolgte mit $k = 0,80$. Die prüftechnisch ermittelten, resultierenden Betoneigenschaften (z. B. Festigkeitseigenschaften, Frostbeständigkeit) wurden mit jenen von Betonen gleicher Zusammensetzung, die mit den bei den Transportbetonherstellern üblichen CEM II/A 42,5 N Zementen hergestellt wurden, verglichen.

a. Betondruckfestigkeit

Wird bei der Betonherstellung ein Teil des Zementes (sowohl derzeitiger Transportbetonzement CEM II/A 42,5 N als auch bei dem neuen Ökozement) nach dem k-Wert-Konzept durch AHWZ ersetzt, so erreichen die damit hergestellten Betone eine geringere Druckfestigkeit. Der durchschnittliche Druckfestigkeitsabfall gegenüber Betonen mit gleichem W/B-Wert, aber ohne Ersatz eines Teiles des Zementes durch AHWZ, ist in Tabelle 3-1 zusammengestellt. Der Abfall ist

- beim neuen Ökozement kleiner als bei den derzeitigen Transportbetonzementen CEM II/A 42,5 N
- in jungem Alter größer als nach 28 Tagen.

Tabelle 3-1: Druckfestigkeitsabfall durch AHWZ

Zement 42,5 N	Druckfestigkeitsabfall [%] durch AHWZ					
	10 % AHWZ			20 % AHWZ		
	Bei Betonalter von Tagen					
	1	7	28	1	7	28
CEM II/A	29	11	7	38	19	11
CEM II/B-M ok	20	8	5	29	14	8

b. Korrosionsschutz der Bewehrung

Karbonatisierung (XC1[A], XC2[A])

Die Karbonatisierungstiefen aller untersuchten Betone (sowohl jene mit dem derzeitigen Transportbetonzementen CEM II/A 42,5N als auch jene mit dem neuen Ökozement) liegen im gleichen zu erwartenden Streubereich. Auch bei den Betonen mit dem neuen Ökozement, bei denen 10 % oder 20 % des Zementes durch AHWZ nach dem k-Wert-Konzept ersetzt wurden, war kein Einfluss auf die Karbonatisierung und damit auf die Gefahr einer Korrosion (Rosten) der Bewehrung durch Karbonatisierung feststellbar.

Widerstand gegen Chlorideindringung (XD[A])

Bei den Untersuchungen an Betonen mit dem neuen Ökozement ist sowohl bei alleiniger Verwendung dieser Zemente als auch bei Ersatz von 10 % oder 20 % des Zementes durch AHWZ nach dem k-Wert-Konzept keine Beeinträchtigung hinsichtlich einer möglichen Schädigung der Bewehrung im Beton durch Chloriddiffusion aufgetreten.

c. Frost-Beständigkeit (Schädigung des inneren Gefüges (XF3[A]))

Bei der normgemäßen Frostprüfung (XF3) wurden nach 56 Frost-Tau-Wechseln Änderungen der Schalllaufzeit von -3,0 % bis +1,6 % ermittelt. Ein Beton gilt als frostbeständig, wenn die Zunahme der Schalllaufzeit maximal 5 % beträgt. Demgemäß waren alle Betone (sowohl Betone ohne AHWZ als auch jene mit 10 % und 20 % AHWZ) mit

einer für die Expositionsklasse XF3 zulässigen Betonzusammensetzung frostbeständig. Ein Einfluss des teilweisen Ersatzes des neuen Ökozements durch AHWZ war nicht feststellbar.

d. Frost-Taumittel-Beständigkeit (Abwitterung XF2[A])

Der Abwitterungsverlauf aller Betone XF2(A) sowohl mit den derzeit von den Transportbetonherstellern verwendeten CEM II/A 42,5 N als auch mit dem neuen Ökozement zeigten positive Ergebnisse und liegen im gleichen zu erwartenden Streubereich. Demgemäß waren alle Betone (sowohl Betone ohne AHWZ als auch jene mit 10 % AHWZ und 20 % AHWZ) mit einer für die Expositionsklasse XF2(A) zulässigen Betonzusammensetzung frostbeständig.

e. Beständigkeit

Für die Verwendung von dem neuen Ökozement, mit und ohne Zugabe von AHWZ, können daher sowohl für die Herstellung von herkömmlichem Stahlbeton als auch bei allen anderen Umweltbelastungen die gleichen Regeln angewandt werden, wie sie für die derzeitigen CEM II/A 42,5 N gelten.

4. Verwendung des neuen Ökozements

- Der neue Ökozement (untersucht wurden CEM II/B-M[SL] 42,5N [ok] bzw. CEM II/B-M[TL] 42,5N [ok]) aller österreichischen Zementhersteller ist für alle jene Betonanwendungen geeignet, für die Zemente

CEM II/A 42,5 N verwendet werden. Die mit dem neuen Ökozement hergestellten Betone entsprechen in der Festigkeitsentwicklung den üblichen Transportbetonen.

- Die mit dem neuen Ökozement hergestellten Betone sind ohne Änderung der Anforderungen der Betonnorm ^[3] sowohl mit als auch ohne Chloridbelastung für die Verwendung als Stahlbeton geeignet.
- Die mit dem neuen Ökozement hergestellten Betone sind ohne Änderung der Anforderungen der Betonnorm ^[3] und bei Einhaltung der Anforderungen an das Luftporensystem für alle Expositionsklassen der Frostbelastung – mit und ohne Taumittel – verwendbar.
- Dem neuen Ökozement dürfen in Summe so viele Zusatzstoffe (AHWZ) zugegeben werden, wie gemäß ÖNORM B 4710-1:2007 für CEM II/A- 42,5-Zemente zulässig ist. Die Beständigkeit der so hergestellten Betone wird nicht beeinträchtigt.
- Bei dem neuen Ökozement ist der CO₂-Anfall bei der Herstellung und damit der „CO₂-Rucksack“ des mit diesen Zementen hergestellten Betons um mindestens 8 % kleiner als bei den derzeit üblichen Zementen CEM II/A 42,5 N.

5. Literatur

- ^[1] Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), Sensengasse 1, 1090 Wien.
- ^[2] ÖNORM EN 197-1: 2011: Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ^[3] ÖNORM B 4710-1:2007 Beton Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton), Österreichisches Normungsinstitut, Wien.