

Beton mit schnellerhärtendem Calcium-Sulfoaluminat-Zement (CSA-ZEMENT)

Ein Calcium-Sulfoaluminat-Zement (sogenannter: CSA-Zement) ist ein mineralisches, hydraulisches Bindemittel mit rascher Frühfestigkeitsentwicklung, geringer Schwindung und hohem Sulfatwiderstand. Zu den Hauptbestandteilen gehört u. a. wasserfreies Calciumsulfoaluminat ($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_4$), welches für die signifikant schnelle Hydratation (Bildung von Ettringit) verantwortlich ist und das Alit (C3S), welches bei Portlandzementen für die „Frühfestigkeit“ verantwortlich ist, ersetzt. Als weiterer, nennenswerter Bestandteil ist oftmals Belit (C2S), welches in derselben Form bei Portlandzementen (OPC) verwendet wird, vorhanden. CSA-Zemente sind, basierend auf obigen Angaben, nicht vergleichbar mit Tonerdenschmelzzementen (CAC oder HAC), welche bei der Hydratation alleinig Calciumaluminat bilden.

CSA-Zemente werden bei Temperaturen von ca. 1250 °C und somit bei deutlich geringeren Temperaturen als Portlandzement (1450 °C) gebrannt. Aufgrund dieser Herstellungsweise sind nennenswerte Energieeinsparungen bei der Herstellung von CSA-Zementen gegeben, der CO_2 -Ausstoß (Carbon Footprint) wird deutlich reduziert.

Die Laboruntersuchungen der AGH Krakau gemäß EN 196-1 ergaben bereits nach 1 h Abbindezeit eine Druckfestigkeit von $f_{ck} > 20$ MPa. Die Anwendung des w/z-Wertes konnte analog wie bei konventionellen Portlandzementen erfolgen. Sehr hohe und sich rasch entwickelnde Frühfestigkeiten bei auf CSA-Zement basierten Betonen ermöglichen Instandsetzungsarbeiten (besonders von Betonböden und Betonoberflächen) innerhalb weniger Stunden (z. B. kurze Betriebsunterbrechung bei meerwasserbeständigen Bauwerken während der Ebbe).

Historischer Überblick

Betone mit Portlandzement weisen gute Festigkeitswerte auf, sind jedoch empfindlich gegenüber niedrigen Temperaturen bei der Hydratation, nicht beständig gegen Einwirkung von Säuren, mancher Basen, organischen Verbindungen und teilweise von Salzlösungen (auch Meerwasser) und haben lange Ausschallfristen. Bei längerer Lagerung reduziert sich zusätzlich das Abbindeverhalten. Bereits in den 30er Jahren des 20. Jhs. gab es Versuche, alternative Bindemittel auf Basis von Aluminat-Zementen zu entwickeln (u. a. in Polen von Stefan Bryła), [2]. Die erzielten Ergebnisse ließen eine deutliche Verbesserung der Zementeingenschaften erkennen: mögliche niedrigere Einbautemperaturen, längere Haltbarkeit, kürzere Ausschallungszeiten. Der neu entwickelte Zement hatte eine höhere Widerstandskraft gegen chemischen Angriff, ausgenommen Ammoniumsulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und Natriumsulfat Na_2SO_4 . Wegen hoher Produktionskosten hat sich diese Technologie aber nie in der Praxis etabliert.

Ein weiterer Nachteil von Portlandzement-Betonen ist deren Schwindneigung. Um die Volumenverringerung im jungen Beton zu kompensieren, nutzte man die Volumenvergrößerung (treibende Kraft) bei der Ettringitbildung. Die ersten Experimente stammen aus Frankreich [5]. 1966 entwickelte Alexander Klein in den USA einen Quellzusatz aus Calciumsulfoaluminat (als Quelle von Aluminium-Ionen) und patentierte seine Betontechnologie: ein Gemisch aus Portlandzement und Expansivzement mit wasserfreiem Calciumsulfoaluminat (Bild 1).

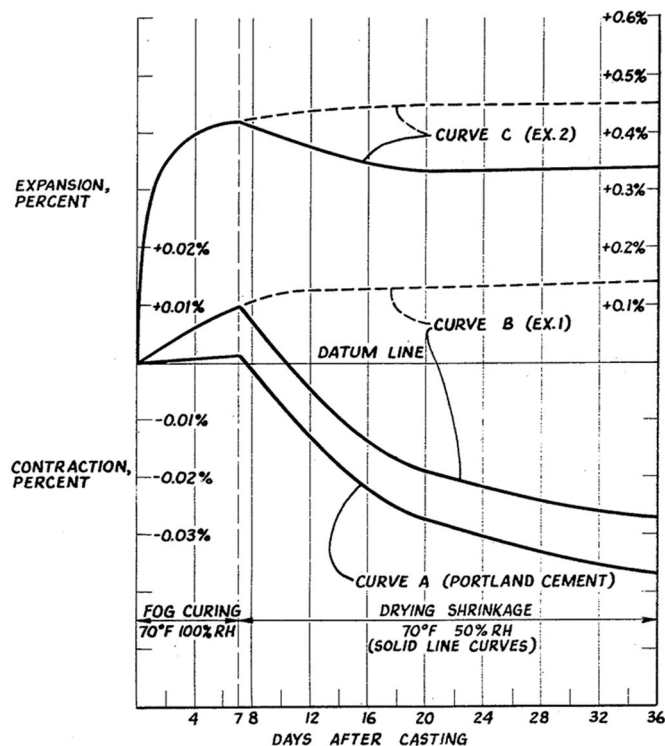
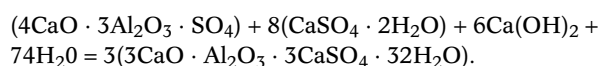


Bild 1 Zeichnung aus der Patentanmeldung von Klein

Gemäß Kleins Patenten, bei einzuhaltendem Verhältnis von Portlandzement zum Expansivzement, entstehen in Stahlbetonplatten Druckspannungen im Beton, aber Zugspannungen in der Bewehrung (umgekehrt als bei Portlandzement). Dies verhindert die Entstehung von Schwindrissen (die bei reinen Portlandzement-Betonen üblich sind) [5].

Die Ettringit-Entstehung während der Betonerhärtung verursacht eine Volumenexpansion der Betonausgangsstoffe [8], (Reaktion vereinfacht):



Weitere Untersuchungen ergaben, dass Ettringit = Tricalciumaluminat-Trisulfathydrat bei bestimmter Sättigung mit Sulfat-Ionen entsteht. Bei geringer Sulfat-Sättigung entsteht hingegen Tricalciumaluminat-Monosulfathydrat $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Die beiden Verbindungen sind wegen ähnlicher Struktur schwer zu unterscheiden [5].

Während der Untersuchungen am „Materialdreieck“ mit unterschiedlich hohem Gehalt von: Calciumsulfoaluminat ($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_4$), Calciumsulfat-Dihydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) und Dicalciumsilicat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) wurden Mischungsverhältnisse für schnellerhärtende, schwach expansive und expansive Zemente festgesetzt. Gemäß Bild 2, z. B. bei relativ geringerer Gipszugabe, entstehen schnellerhärtende Zemente, Bereich I [5]. Im Bereich II liegen die schwach expansiven und im Bereich III die expansiven Zemente.

Um hohe Festigkeitswerte bei schnellerhärtenden Zementen zu erreichen, sollte für Klinker mit Brenntemperatur von über 1200 °C und Kalksättigung $\text{MN} = 1$ das Verhältnis $\text{A/S} = 2,0$ – $2,5$ betragen.

Auch in Polen gab es Versuche mit derartigem Zement (Opeln, 70er Jahre), sie wurden jedoch eingestellt. Keine positiven Er-

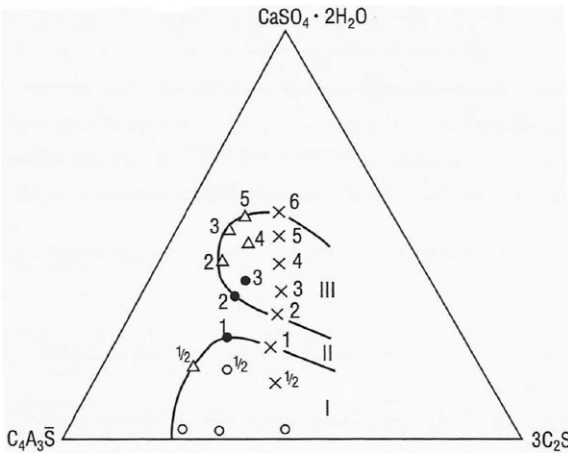


Bild 2 Einfluss der drei Hauptphasen auf die Zementeigenschaften: I, II, III: Bereiche der schnellerhärtenden, schwach expansiven, expansiven Zemente

gebnisse brachten Experimente mit Kieselpulver, im Endeffekt sank die Widerstandsfähigkeit um 20%. Die zurzeit größten Hersteller von schnellerhärtenden CSA-Zementen finden sich in den USA und China.

Eigenschaften der CSA-Zemente

Calcium-Sulfoaluminat-Zemente (CSA-Zemente) sind bei trockener Lagerung in einwandfreier Verpackung min. 12 Monate haltbar. Hergestellt werden heutzutage CSA-Zemente verschiedener Festigkeitsklassen. Der empfohlene Wasser-Zement-Wert (w/z) sollte laut der Quelle [4, 7] im Bereich 0,41–0,61 liegen, laut [14] 0,36–0,65. Man möchte darauf hinweisen, dass zur Entstehung von Tricalciumaluminat-Monosulfathydrat die volle Wasseraufnahme nötig ist, die erst ab dem Verhältnis w/z > 0,36 gegeben ist, [13]. Die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung wird ähnlich wie bei herkömmlichen Betonen bestimmt, der CSA-Gehalt sollte jedoch 300 kg/m³ Betonmischung nicht unterschreiten [14].

Zum Erzielen gewünschter Festigkeit sollte bei Temperaturen von 7 °C bis 32 °C vorbereitet und betoniert werden (niedrigere Temperaturen verlangsamen den Erhärtungsprozess, höhere Temperaturen beschleunigen diesen dahingehend). Abbinde Temperaturen je nach Witterung und Betonrezeptur von bis zu 50 °C sind dabei aber nichts Ungewöhnliches. Bei 20 °C setzt die Erstarrung laut [11] bereits nach 15 Minuten ein, laut [14] nach 25 Minuten. Durch Einsatz von organischen Säuren als Verzögerer können die Erstarrungszeiten bis hin zu ca. 15 Minuten herausgezögert werden.

Der chemische Verlauf während der Abbindezeit kann so bezeichnet werden, dass in der ersten Phase der Wasseraufnahme

durch Calciumsulfat- und Aluminatkomponenten 80% des stabilen Ettringit entstehen, dies noch vor der Hydratationsphase. Dies ist auch der Grund, warum CSA-Zemente äußerst geringe Schwindverformungen aufweisen und nahezu als schwindfrei bezeichnet werden können. Laut [14] beträgt das Schwindmaß nach 28 Tagen (Labormaßstab) bei sehr trockener Luft 0,076 mm/m, in Feuchträumen hingegen kann eine Quellung von ca. 0,2 mm/m eintreten (gemäß ASTM C 845-96 [1] gilt für schwindfreie Zemente eine Längenänderung von bis zu -0,5 mm/m). Bild 3 zeigt den Schwindverlauf von zwei unterschiedlichen Mörteln/Bindemitteln: Rapid Set® (CSA-Zement) und Portlandzement (CEM I).

Der CSA-Zement kann schon nach 1 h ab Wasserzugabe die Druckfestigkeit $f_{ck} > 20$ MPa erreichen. Bereits nach wenigen Stunden werden Festigkeiten erreicht, die bei Portlandzementen erst nach 28 Tagen üblich sind.

Die Druckfestigkeitsentwicklung von Rapid Set® (CSA-Zement) [10] verläuft exemplarisch wie folgt:

- nach 1 h ca. 20 MPa
- nach 3 h ca. 35 MPa
- nach 24 h ca. 45 MPa
- nach 7 Tagen ca. 50 MPa
- nach 28 Tagen ca. 62 MPa

Basierend auf Untersuchungen von Oreworld [15] wurden Festigkeitsentwicklungen nach 1 Jahr von bis zu +25% und nach 5 Jahren von bis zu +33% gemessen.

Laut weiteren Untersuchungen [15] ist das Verhältnis der Haftzugfestigkeit zur Druckfestigkeit ähnlich wie das der Portlandzemente. Nach 7 Tagen betrug die Haftzugfestigkeit 4,1 MPa, die Spaltzugfestigkeit 5 MPa.

Chemische Zusammensetzung der CSA-Hauptkomponenten bei unterschiedlichen Herstellern [11+15]:

CaO	40–50 %
SiO ₂	5–10 %
Al ₂ O ₃	15–25 %
Fe ₂ O ₃	1–5 %
SO ₃	15–25 %
MgO	0,5–3,5 %

Das Calcium in den CSA-Zementen ist stark gebunden, daher ergeben sich laut [12, 13, 15] die basischen pH-Werte zwischen 10,5 und 11. Messungen des Rapid Set® (CSA-Zement) Zementes [11] ergaben sogar einen pH-Wert im Bereich 12. Portlandzemente liegen im Vergleich hierzu bei einem pH-Wert von 13.

Im Bereich Stahlbeton kommt es somit lediglich zu einer feinen Passivierungsschicht [14]. Das an der Oberfläche entstandene

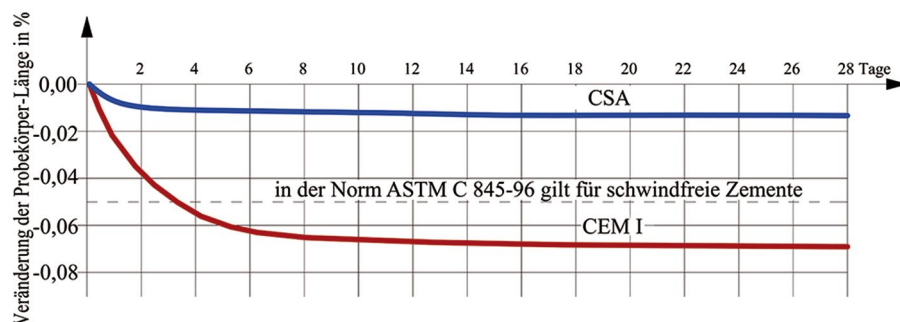


Bild 3 Schwindverlauf von Rapid Set® (CSA-Zement) und Portlandzement (CEM I)

Eisenoxid reagiert mit Sulfaten, wie Aluminaten, und bildet eine Schutzschicht aus Ettringit gegen Korrosion.

Laboruntersuchungen bestätigen einen hohen Frostwiderstand der auf CSA-Zement basierten Betone, welcher teilweise über 200 Frost-Tau-Wechsel hinausgeht. Ein Grund dafür war die hohe Dichtigkeit der getesteten Betone. Bei der Wasserundurchlässigkeitsprüfung mit einem Wasserdruck von 3 MPa konnte z. B. kein Wassereindringen festgestellt werden. Ein weiterer Effekt dieser Eigenschaft ist der hohe Widerstand gegen Magnesium- und Natriumchloridsalze [14].

Verwendung

Mögliche Anwendungsgebiete von CSA-Betonen sind aufgrund der Eigenschaften vielfältig:

- Instandsetzung stark beanspruchter Böden, Plätze, Haltestellen, Fahr- und Flugbahnen, dies bei kurzer Betriebsunterbrechung und schneller Verkehrsfreigabe (gemessen in Stunden)
- Reparaturen in wassertechnischen Anlagen, im Bergbau, an Brücken und Viadukten, wo schnelle Festigkeitsentwicklung gefordert ist
- Fertigteilindustrie: Betonfertigbauteile ohne Schnellerhärtungsverfahren durch flüssige Zusatzmittel oder Wasserdampf
- Einsatz im Bereich von Self-Levelling-Systemen mit geforderter, hoher Frühfestigkeit
- Neubau von Rohren, Leitungen und Behältnissen, sulfatbeständig und hochdicht
- Produkte für das Trockenspritzverfahren
- Betonieren bei niedrigen Temperaturen, unter Nutzung der Freisetzung erheblicher Hydratationswärme, schneller Erhärtungsgeschwindigkeit und hoher Endfestigkeit
- Bauwerke im Meerwasser, besonders während der Ebbezeiten.

CSA-Zemente können dahingehend nicht als Feuerfestzemente eingesetzt werden, da die Struktur bei Temperaturen $> 200^\circ\text{C}$ nicht mehr dauerhaft ist. Demzufolge sollte die Gebrauchstemperatur 150°C nicht übersteigen ([15] gibt sogar für ihren CSA-Zement nur 100°C als maximale Temperatur an). Weiterer Nachteil ist – wie beim Portlandzement – der geringe Widerstand gegen Säuren.

Einbau

Die Einbaufläche muss sauber und frei von Verunreinigung sein, wie Erdöl, Asphalt, Säuren, usw. Bei Reparaturen lose Teile ent-

fernen, die Fläche am besten mechanisch aufrauen. Direkt vor Einbau entstauben und vornässen.

Kein Rütteln nach dem Verlegen und Erstarrungsbeginn. Die Nachbehandlung muss direkt nach dem Erstarrungsbeginn erfolgen. Die Fläche mit Folie zudecken oder bis zu 2 Stunden befeuchten. Betonbauwerke im Meerwasser können ohne Beeinträchtigung der Betonqualität unter Wasser bleiben. Das Meerwasser erhöht die lange Beständigkeit der auf CSA-Zement basierten Betone. Dieser wichtige Vorteil ermöglicht Arbeiten an Kaimauern während der Ebbe.

Der in der Regel bereits nach einigen Minuten auftretende Erstarrungsbeginn setzt eine unkonventionelle Einbautechnik voraus. Auf CSA-Zement basierte Betone sollten nur durch geschultes Personal appliziert werden, weil Erstarrungs- und Erhärtungsprozesse sehr schnell nach Wasserzugabe einsetzen. Die Arbeitsflächen und alle Baustoffe müssen rechtzeitig vorbereitet werden, da während des Einbaus kein Zeitfenster für Korrekturen vorhanden ist. Das Mischen soll in direkter Nähe der Einbaufläche erfolgen. Unmittelbar nach Arbeitsende müssen alle Rühr- und Einbaugeräte gereinigt werden. Vor Arbeitsbeginn sollen Maßnahmen für den Fall einer eventuellen Havarie getroffen werden.

Prüfung der Frühfestigkeit eines auf CSA-Zement basierten Betons

Untersucht wurde die Druckfestigkeit f_{ck} eines auf CSA-Zement basierten Betons, am Beispiel des Produktes Concrete Mix der Fa. KORODUR International GmbH, die in 25 kg-Verpackungen angeboten wird [4, 7]. Geprüft wurden zwei verschiedene Trockengemisch-Varianten: Variante 1 mit Standardmerkmalen und Erstarrungsbeginn $t = 18$ Min., Variante 2 mit verzögertem Erstarrungsbeginn $t^2 = 32$ Min. Die Druckfestigkeit $f_{ck.cube}$ wurde an $100 \times 100 \times 100$ -mm-Würfeln ermittelt, gemäß EN 12390-1 [9]. Die Temperatur des Wassers, des Trockengemisches und der Umgebung betrug 20°C .

Abhängigkeit der Concrete Mix-Druckfestigkeit vom w/z-Wert
Nach Herstellerangaben werden 25 kg Trockengemisch mit 3,0 bis 4,5 l Wasser angerührt, [4, 7]. Geprüft wurden Probekörper mit Mischungsverhältnis von: 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 und 5,0 l Wasser auf 25 kg Concrete Mix, was den w/z-Werten von jeweils 0,34, 0,41, 0,47, 0,54, 0,61 und 0,68 entspricht. Von der Variante 1 wurden 54 Probekörper gefertigt, je 9 Stück pro w/z-Wert. Die gefüllten Probekörperformen wurden thermoisoliert gelagert. Für jeden w/z-Wert wurden je 3 Probekörper untersucht, nach Ablauf von jeweils 1, 2 und 24 h ab Wasserzugabe. Hierfür

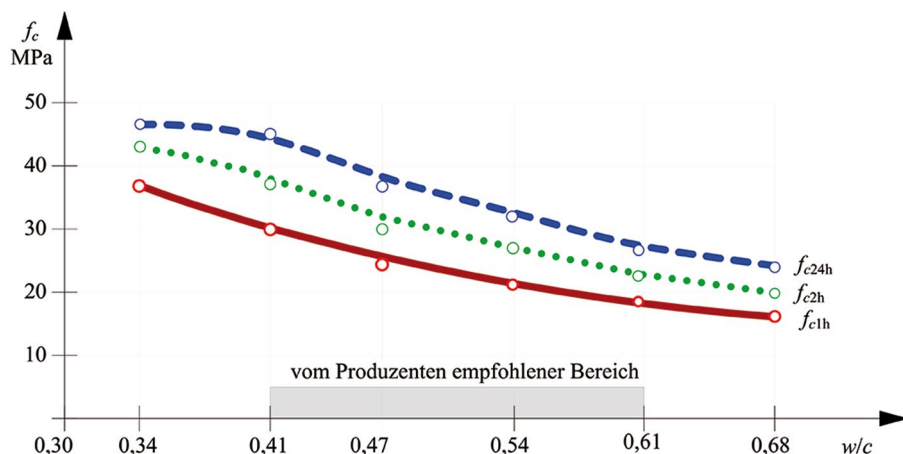


Bild 4 Druckfestigkeiten (Concrete Mix): f_{c1h} , f_{c2h} , f_{c24h} jeweils nach 1, 2 und 24 h, für ausgewählte w/z-Werte

Tab. 1 Druckfestigkeit f_{c1h} – Mittelwerte von *Concrete Mix* nach 1 h ab Wasserzugabe für jeweiligen w/z -Wert

w/z -Wert	0,34	0,41	0,47	0,54	0,61	0,68
Druckfestigkeit f_{c1h} MPa (Mittelwert von 3 Probekörpern)	38,4	30,1	24,5	22,8	18,1	16,7
Standardabweichung s	4,6	1,2	0,7	0,96	0,5	0,64

wurde die Druckprüfmaschine walter+bai ag DB 3000, mit Kontrollmodul NS19 verwendet. Die Ergebnisse f_{c1h} , (nach 1 h ab Wasserzugabe) sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Mit Veränderung des Wasserzement-Wertes durch höhere Wasserzugabe im vom Hersteller angegebenen Bereich, d. h. beim w/z -Wert von ca. 0,41 bis 0,61, sinken die durchschnittlichen Druckfestigkeiten f_{c1h} um 40 % auf jeweils 30,1 MPa bis 18,1 MPa. Auch nach 2 und 24 Stunden ab Wasserzugabe wurden Druckfestigkeiten ermittelt, f_{c2h} , f_{c24h} , Bild 4. Nach 2 h betrug die Druckfestigkeit f_{c2h} von 36,8 MPa bis 22,4 MPa (Abfall um 39%), nach 24 h $f_{c24h} = 46,3$ MPa bis 25,9 MPa (Abfall um 44%).

Die Konsistenz der Betonmischung mit einem vom Produzenten empfohlenen w/z -Wert ermöglicht ihr gutes Einbringen und Verdichten. Beim $w/z = 0,41$ war jedoch die Verarbeitbarkeit deutlich schlechter als bei höheren w/z -Werten (Standardabweichung $s = 1,2$). Mischungen mit höherem Wassergehalt, d. h. $w/z \geq 0,54$, hatten nach dem Anrühren einen sichtbaren Wasserüberschuss, waren sehr gut verarbeitbar und verdichtbar, gleichzeitig trat kein Sedimentieren auf. Betonmischungen mit $w/z = 0,34$ (0,5 l Wasser weniger als empfohlen) ließen sich dagegen schlecht einbringen und verdichten, die Standardabweichung der Druckfestigkeiten betrug $s = 4,6$.

Abhängigkeit der Concrete Mix-Druckfestigkeit vom w/z -Wert beim Trockengemisch mit verzögertem Erstarrungsbeginn

Laut Herstellerempfehlung sollen 25 kg Trockengemisch der Variante 2 (*Concrete Mix*, $t^2 = 32$ Min.) mit 3,0 bis 4,5 l Wasser angerührt werden [4, 7]. Bei der Prüfung wurden 3,5 l pro 25 kg

Tab. 2 Druckfestigkeit f_{ck} – Mittelwerte von *Concrete Mix*, Variante 2 (Erstarrungsbeginn $t^2 = 35$ Minuten, $w/z = 0,47$)

Druckfestigkeit f_{ck} MPa (Mittelwert von 3 Probekörpern)	Zeit (ab Wasserzugabe bis Prüfungsbeginn) h					
	1,0	1,5	2,0	4,0	24,0	336,0
	16,4	24,9	27,3	31,5	37,9	55,2

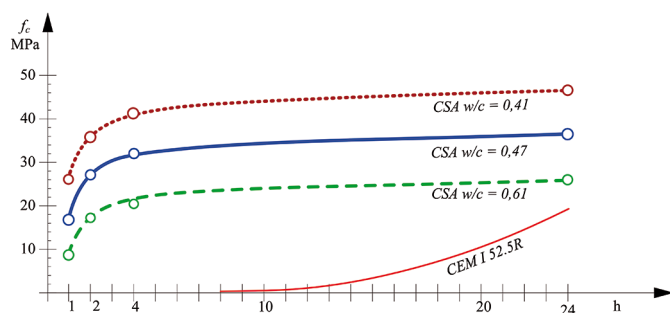


Bild 5 Druckfestigkeiten von *Concrete Mix* und Portlandzement CEM I 52,5R

verwendet, das entspricht dem $w/z = 0,47$ (genauso gute Verarbeitbarkeit wie bei Variante 1). Es wurden 18 Probekörper hergestellt. Die gefüllten Probekörperformen wurden thermoisoliert gelagert. Es wurden je 3 Probekörper untersucht, nach Ablauf von jeweils 1,0, 1,5, 2,0, 4,0 und 24 h und nach 7 Tagen ab Wasserzugabe, Prüfgerät s. o. Darstellung der Prüfergebnisse in der Tabelle 2.

Auf dem Bild 5 sind die Druckfestigkeitswerte der Betonmischung *Concrete Mix* und gemäß [9] der Betonmischung CEM I 52,5 R mit hoher Frühfestigkeit zusammengestellt.

Gemäß Bild 5 erreicht *Concrete Mix* den größten Festigkeitsanstieg in der ersten Stunde nach dem Anrühren. In der zweiten Stunde verliert der Anstieg an Intensität. In den weiteren Stunden verlangsamt sich die Festigkeitsentwicklung und stabilisiert sich ähnlich wie beim Portlandzement (nach 28 Tagen). An dieser Stelle muss auf die erhöhte Temperatur der Probekörper hingewiesen werden, die auf deren Hydratationswärme und Thermolagerung zurückzuführen ist.

Beim Vergleich der beiden *Concrete Mix*-Varianten 1 und 2 ($w/z = 0,47$) lässt sich feststellen, dass deren Druckfestigkeitswerte nach 24 h ab Wasserzugabe f_{c24h} ähnlich sind ($f_{c24h} = 36,4$ MPa, $f_{c24h} = 37,9$ MPa). In der Anfangsphase der Erhärtung jedoch ist die Druckfestigkeit der Variante 2 (mit verzögertem Erstarrungsbeginn $t^2 = 32$ Min.) niedriger, d. h. um 33% nach 1 h und um 17% 2 h ab Wasserzugabe. Die Variante 2 erreicht nach 1,5 und 4,0 h Druckfestigkeitswerte von $f_{c1,5h} = 24,9$ MPa und $f_{c4h} = 31,5$ MPa, d. h. ähnlich hohe Werte, wie die Variante 1 ($f_{c1h} = 24,5$ MPa i $f_{c2h} = 30,0$ MPa) knapp 0,5 h und 2 h eher.

Die Druckfestigkeit des Portlandzementes CEM I 52,5 R mit hoher Frühfestigkeit beträgt laut [10] nach 24 h $f_{c24h} = 12,9$ MPa und ist somit zweimal niedriger als die von CSA (mit dem ungünstigsten $w/z = 0,61$). Nach 2 h ist sie sehr gering und nicht vergleichbar mit der CSA-Druckfestigkeit. Daher werden die auf CSA-Zement basierten Betone bevorzugt dort eingesetzt, wo es auf schnelles Erreichen hoher Anfangsfestigkeiten ankommt.

Fazit

Die auf CSA-Zement basierten Betone zeichnen sich durch eine sehr schnell ansteigende Frühfestigkeit aus, bereits eine Stunde ab Wasserzugabe werden Werte > 20 MPa erreicht. Dank der hohen Dichtigkeit sind sie außerdem gegen hohen Wasserdruck beständig. Aufgrund des hohen Widerstandes gegen Sulfate (kein Tricalciumaluminat (C3A) vorhanden) und andere, chemische Angriffe können auf CSA-Zement basierte Betone bei Einwirkung von Meerwasser und chemischen Stoffen angewendet werden. Diese besonderen Eigenschaften, wie auch die Frostbeständigkeit, prädestinieren auf CSA-Zement basierte Betone für Instandsetzungsarbeiten u. a. an Böden, Fahrbahnen, Flugbahnen, und das bei relativ kurzen Betriebsunterbrechungen.

Die im Labor der AGH Krakau untersuchten, auf CSA-Zement basierten Probekörper (exemplarisch am Produkt *Concrete Mix*) erreichten sehr schnell – nach 1 h ab Wasserzugabe (und thermoisoliert) – eine hohe Druckfestigkeit im zweistelligen MPa-Bereich, nach 24 h war sie doppelt so hoch wie beim Portlandzement CEM I 52,5 R.

Ein wichtiger Aspekt ist die Wassermenge. Laut Herstellerempfehlungen sollen 25 kg Trockengemisch mit 3,0 l bis 4,5 l angemischt werden, was den w/z -Werten im Bereich 0,41–0,61 ent-

(Abb.: 1A. Klein „Expansive and shrinkage-compensated cements“; 2 W. Kurdowski „Chemia cementu i betonu“ S. 671; 3 erstellt laut [16]; 4 eigene Zusammenstellung; 5 eigene Zusammenstellung und anhand [12] für CEM I 52,5R)

spricht. Die Erhöhung der Anmachwassermenge bewirkt eine Reduzierung der durchschnittlichen, 1-stündigen Druckfestigkeitswerte f_{c1h} von 30,1 MPa bis auf 18,1 MPa, d. h. um 40 %, ähnlich nach 2 h f_{c2h} , von 36,8 MPa auf 22,4 MPa, d. h. um ca. 39 %. Trotzdem sind die erreichten Werte als sehr gut zu bezeichnen.

Die gut zu verarbeitende *Concrete Mix*-Variante 2 mit verzögertem Erstarrungsbeginn $t^2 = 32$ Min. erreicht Druckfestigkeitswerte von 24,9 MPa und 31,5 MPa nach 1,5 und 4,0 h (ab Wasserzugabe), d. h. ca. 0,5 und ca. 2 h später als die herkömmliche Variante $t^1 = 18$ Min. (24,5 MPa nach 1 h; 30,0 MPa nach 2 h).

Die Anwendung der auf CSA-Zement basierten Betone erfordert wegen der innerhalb von wenigen Minuten einsetzenden Erstarrung eine sehr gute Vorbereitung, viel Sachkenntnis und Erfahrung. Zusätzlich ist die Einhaltung der Wasserdosierung und die Nachbehandlung des frisch eingebrachten Betons (Curing) in den ersten Stunden wichtig, denn nur so werden die vollen Eigenschaften erreicht.

Andrzej Więckowski, Roman Zimka

Literatur:

- [1] ASTM C 845-96. Standard specification for expansive hydraulic cement.
- [2] Bryła S. „Zachowanie się betonów glinowych pod wpływem czynników zewnętrznych” *Inżynieria i Budownictwo* 2,3, 1938.

- [3] Klein A. “Expansive and shrinkage-compensated cements” Patent US3,251,701.
- [4] KORODUR International GmbH. Product Information.
- [5] Kurdowski W. „Chemia cementu i betonu” *Stowarzyszenie Producentów Cementu – Wydawnictwo Naukowe PWN, Kraków – Warszawa* 2010.
- [6] Locher F.W. “Cement, principles of production and use” Verlag Bau+Technik GmbH Dusseldorf 2006.
- [7] May D. „Pumpversuche mit CONCRETE MIX bei der Fa. MAI“.
- [8] Nocuń-Wczelik W., Konik Z., Stok A., Malolepszy J. „Spoiwa o kontrolowanych zmianach objętości do prac naprawczych i uszczelniających“ XXIV Konferencja Naukowo-TechnicznaS zczecin-Międzyzdroje, 26–29 maja 2009.
- [9] EN 12590-1: 2012 Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds.
- [10] EN 197-1: 2011 Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria.
- [11] CTS Cement – Rapid Set Construction Cement _CSA Zement.
- [12] www.concretecountertopinstitute.com/csa-cements-rapid-strength-with-a-low-carbon-footprint/ The Concrete Countertop Institute
- [13] www.cbm.bgu.tum.de/fileadmin/w00bdr/www/pdf/Veranstaltungen/Vortraege_Baustoffseminar_2016/1_Urbonas_Calciumsulfoaluminatzemente.pdf
- [14] www.csa-cement.com Polar Bear CSA Cement. Product Information.
- [15] www.csacement.com Oreworld Cement Manufactured. Product Information.

www.korodur.de



Wolfgang Rossner,
Carl-Alexander Graubner
Spannbetonbauwerke
Teil 4: Bemessungsbeispiele
nach Eurocode 2
2012. 626 S.
€ 119,-*
ISBN 978-3-433-03001-1
Auch als erhaltlich

Online Bestellung:
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Arbeitsmittel zur Bemessung von Spannbetonbauwerken nach Eurocode

Das Buch beinhaltet ausgewählte Beispiele zur Bemessung von Straßen- und Eisenbahnbrücken sowie Hoch- und Industriebauten in Spannbetonbauweise. Grundlage ist DIN EN 1992 (Eurocode 2) mit den zugehörigen deutschen Nationalen Anhängen.

Die Beispiele sind für die jeweiligen Bauteile vollständig durchgerechnet im Sinne einer prüffähigen Statik. Umfangreiche Erläuterungen und präzise Verweise auf jeweils relevante Normenabschnitte machen den Ablauf der Bemessungsschritte leicht nachvollziehbar.

Das könnte Sie auch interessieren:



- Spannbetonbau
- Berechnung und Bemessung von Betonbrücken
- Beton- und Stahlbetonbau

Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische
Wissenschaften GmbH & Co. KG

Kundenservice: Wiley-VCH
Boschstraße 12
D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400
Fax +49 (0)6201 606-184
service@wiley-vch.de