

# Gleichwertige Betonleistungsfähigkeit nach SN EN 206-1, am Beispiel von Presyn-Silicoline

Die SN EN 206-1 sieht vor, dass Zusatzstoffe dem Beton beigegeben werden dürfen. Inwieweit die Zusatzstoffe an den Zementgehalt und den Wasserzementwert angerechnet werden dürfen, ist mit dem K-Wert geregelt. Der besagt, dass 1 kg Flugasche 0,4 kg Zement entspricht. Da sowohl die Zemente wie auch die Flugaschen unterschiedlicher Zusammensetzung sind und der Wert 0,4 für ganz Europa gilt, fordert die SN EN 206-1 das Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit.

Das Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit erlaubt Abweichungen von den Anforderungen an den Mindestzementgehalt und an den höchstzulässigen Wasserzementwert, wenn eine Kombination eines festgelegten Zusatzstoffes und eines festgelegten Zementes verwendet wird. Deren Herstellwerk und die Eigenschaften müssen klar ausgewiesen und belegt sein.

Mit gezielten Prüfungen muss nachgewiesen werden, dass der vorgeschlagene Beton eine gleichwertige Leistungsfähigkeit

zu einem Referenzbeton hat und mit dessen Anforderungen bezüglich zugehöriger Expositionsklasse übereinstimmt. Seit Jahrzehnten hat sich Beton mit Flugasche in der Anwendung im Hoch- und Tiefbau mit durchschlagendem Erfolg bewährt. In der ganzen Schweiz wird seit Jahren Beton angeboten mit zum Beispiel 250 kg Cem I und 50 kg Flugasche. Verbreitet wird sogar Cem II A-LL in Kombination mit Flugaschen verwendet. Die Norm definiert für diese Kombination keinen k-Wert.



In den letzten Jahren ist kein anderes Produkt so erfolgreich und verbreitet im Markt eingeführt worden wie Beton mit Flugaschenanteilen. Bauunternehmer wie auch Ingenieure haben mit diesem Beton gute Erfahrungen gemacht und schätzen die positiven Eigenschaften, wie bessere Verarbeitbarkeit, schönere Sichtflächen, verbesserte Pumpbarkeit, höhere Dichtigkeit, verbessertes Wasserrückhaltevermögen und verminderte Rissbildung. Die Presyn AG hat in Zusammenarbeit mit ihren Lizenzwerken zum Nachweis der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit, Vergleiche mit unterschiedlichen Rezepturen zur Untersuchung folgender Kriterien durchgeführt:

- Einfluss der Flugasche auf verschiedene Zementsorten.
- Wasseranspruch bei gleicher Konsistenz.
- Druckfestigkeit und Festigkeitsentwicklung.
- Wasserleitfähigkeit.

Bei den Rezepturen wurde darauf geachtet, dass:

- die Gesamtmenge der Zusatzstoffe einschliesslich derer, die bereits als Bestandteil im Zement enthalten sind, innerhalb der Grenzen nach EN 197-1 für eine entsprechende erlaubte Zementart liegt;
- die Summe von Zement und Zusatzstoff den minimalen Anforderungen der massgebenden Expositionsklasse entspricht;
- der Wasser/Zement-Äquivalentwert (Zement und Zusatzstoff) im Rahmen der Anforderungen für die entsprechende Expositionsklasse liegt. Als Referenzbeton wurde ein C 30/37, XC2, CI 0.10,  $D_{max}$  32, C3 ausgewählt. Ziel der Versuche war es, zu zeigen, dass:

- Beton mit 10 bis 15 % Presyn-Silicoline gleichwertig dem Referenzbeton ohne Flugasche ist;
- Beton mit CEM II A-LL und Flugasche gleichwertig einem Beton mit CEM I und Flugasche ist;
- sich die drei in der Schweiz hergestellten Zementmarken gleich oder sehr ähnlich verhalten;
- dass der k-Wert von Presyn-Silicoline 1.0 beträgt.

Die Betonherstellung erfolgte in drei regional auseinander liegenden Werken. Die Frischbetonprüfungen wurden von der Presyn AG begleitet und die Festbetonprüfungen alle im gleichen, akkreditierten Labor durchgeführt, mit folgenden Resultaten:

- Die Presyn-Silicoline reagierte auf die von den drei Schweizer Zementhersteller angebotenen Sorten Cem I respektive Cem II A-LL gleich.
- Der Wasseranspruch ist bei Beton mit 10 % Presyn-Silicoline gleich wie bei Beton ohne Flugasche, bei Beton mit 15 % PS um 1 % tiefer.

■ Die Druckfestigkeit ist bei Beton mit Presyn-Silicoline nach sieben Tagen um zirka 7 % tiefer, jedoch nach 28 Tagen etwa gleich und nach 56 Tagen um zirka 1 % höher, als bei Beton ohne Flugasche. Für den praktischen Einsatz heisst das, dass die Festigkeitsentwicklung nach sieben Tagen gleichwertig ist.

■ Der Einfluss von Presyn-Silicoline auf die Druckfestigkeit ist bei der Verwendung von Cem I und Cem II A-LL gleichwertig.

■ Die Wasserleitfähigkeit ist mit und ohne Flugasche gleichwertig; die Messresultate liegen innerhalb der Wiederholstandardabweichung.

■ Die angenommene k-Wert-Anrechnung von 1.0 für Presyn-Silicoline hat sich bestätigt.

Für die Expositionsklasse XC2 (Korrosion ausgelöst durch Karbonatisierung) ist vor allem die Dichtigkeit und Karbonatisierungsgeschwindigkeit massgebend.

Die gleichwertige Dichtigkeit konnte mit der Wasserleitfähigkeitsprüfung nachgewiesen werden.

Die Karbonatisierung hängt neben den Umweltbedingungen hauptsächlich von der Betonzusammensetzung (Poren im Zementstein) und der Nachbehandlung ab. Im Weiteren ist sicherzustellen, dass die Porenlösung einen  $\text{pH} > 10$  hat. Um an die Grenze der Alkalitätsreserve zu stossen, müsste man die 1,5-fache Menge des Zementes als Flugasche zugeben; davon sind wir weit entfernt.

Der Kapillarporenraum, massgebend für die Transportprozesse «Kapillares Saugen» und «Diffusion», wird zugunsten des im Wesentlichen nicht transportrelevanten Gelporenraumes verringert. Parallel dazu setzen sich die puzzolanischen Reaktionsprodukte besonders im Bereich der Poreneingänge nieder und



blockieren den dahinter liegenden Porenraum gegen eindringende Flüssigkeit oder Gase («pore blocking effekt»). Diese Tatsachen stellen sicher, dass der pH-Wert im selben Masse abnimmt wie bei Beton ohne Flugasche.

Die Dauerhaftigkeit, von Beton der Expositionsklasse XC2 mit bis zu 15 % Flugasche, wurde in der praktischen Verwendung nachhaltig bewiesen. Die Praxis zeigt auch, dass Beton mit Presyn-Silicoline dank den kleineren Temperaturspannungen zwischen dem Kern- und Randbeton und dank dem besseren Wasserrückhaltevermögen zu weniger Rissbildungen neigt.

Durch diese Versuche konnte der Eignungsnachweis von Beton mit Flugasche aus technischer Sicht erbracht werden.

Die SN EN 206-1 verlangt für den Eignungsnachweis zusätzlich eine europäische technische Zulassung oder eine einschlägige nationale Norm. Da die europäische Zulassung für die Schweiz

noch nicht relevant ist, ist der SIA als zuständige Normenorganisation gefordert. Es ist zu hoffen, dass sie dieses Thema bald und mit Berücksichtigung einer seit Jahren bewährten und breit abgestützten Technik behandeln wird.

## Zusammenfassung

Die jahrelangen Erfahrungen mit Flugaschenbetonen haben gezeigt, dass für die Expositionsklasse XC2 ein Beton mit Flugasche einem Beton mit reinem Portlandzement mindestens gleichwertig ist. Die Gleichwertigkeit wurde mit Zement von drei Zementwerken und maximal 15 % Presyn-Silicoline nachgewiesen. Sowohl der Wasseranspruch, die Druckfestigkeiten, die Druckfestigkeitsentwicklung ab dem siebten Tag und die Wasserleitfähigkeit waren mit den Versuchsmischungen gleich. Der Mechanismus der puzzolanischen Reaktion ist Stand der Technik, womit die Alkalität und Karbonatisierung als nachgewiesen gilt. Die Dauerhaftigkeit konnte ebenfalls aufgrund der gleichwertigen Wasserleitfähigkeit nachgewiesen werden. Beton mit Presyn-Silicoline ist nicht nur gleichwertig, sondern bringt noch verschiedene nicht zu unterschätzende Vorteile. Die Resultate zeigten auch, dass der k-Wert mit 1.0 richtig ist und dies unabhängig von der Verwendung von Cem I oder Cem II A-LL. Zur Umsetzung dieser Erkenntnisse fehlt aber noch die Definition im nationalen Anhang, gegenüber dem dieser Eignungsnachweis erbracht werden muss. ■

Weitere Informationen:

Presyn AG

Ostermundigenstrasse 34a, 3006 Bern

Tel. 031 333 42 52, Fax 031 333 42 53

[www.presyn.ch](http://www.presyn.ch), [presyn@bluewin.ch](mailto:presyn@bluewin.ch)