

NEWSLETTER **TECHNIK**

Dezember 2015

Entwicklung und Anwendung

HEIDELBERGCEMENT



ECHT. STARK. GRÜN.

Liebe Leserinnen und Leser,

schon wieder ist es Dezember, das Jahr 2015 viel zu schnell vorbei und auf der Zielgerade. Rechtzeitig zum Jahresende haben wir für Sie eine neue Ausgabe des Newsletter Technik zusammengestellt und hoffen, dass unsere Beiträge auch heute Ihr Interesse finden.

Das DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton ist neu erschienen und daraus habe ich Ihnen die Änderungen in Kürze in einem Artikel zusammengefasst. Frau Dr. Scheydt stellt in Ihrem Beitrag das von ihr weiterentwickelte BEST-Verfahren zur Prüfung der Performance von Zement-Beschleuniger(BE)-Kombinationen für Spritzbetonanwendungen vor. Mit diesem Verfahren kann schnell und mit wenig Material- und Personaleinsatz untersucht werden, ob eine Zement-BE-Kombination gut oder weniger gut geeignet ist und auch entsprechende Optimierungen des „Systems“ können vorgenommen werden.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und schon jetzt ein schönes Weihnachtsfest mit viel Zeit für all die Dinge, die sonst immer ein bisschen zu kurz kommen.

Starten Sie gut ins neue Jahr und bleiben Sie gesund!

Ihre

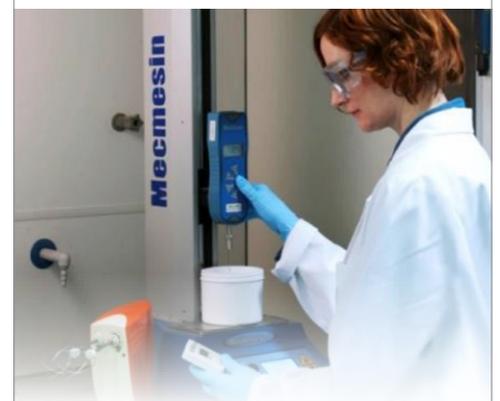
Dagmar Küchlin

Bauberatung Zement,

Entwicklung und Anwendung, Leimen



→ **Neuerungen
im DBV/VDZ-
Merkblatt
Sichtbeton**
mehr >>



→ **Beurteilung der Reaktivität von
Spritzbetonsystemen mit dem
Beschleuniger-Systemtest (BEST)**
mehr >>

Neuerungen im DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton



Dagmar Küchlin,
Leiterin
Bauberatung Süd
HeidelbergCement,
Entwicklung und
Anwendung,
Leimen

Die neue Fassung des DBV/VDZ-Merkblattes Sichtbeton ist mit Ausgabedatum Juni 2015 erschienen und ersetzt die Fassung von August 2004 / korrigierten Nachdruck 2008. Das Merkblatt wurde sowohl inhaltlich als auch redaktionell überarbeitet. Aktuelle Erkenntnisse, Forschungsergebnisse und Anpassungen im Regelwerk wurden eingearbeitet und Inhalte präzisiert. Wesentliche Inhalte wie die Sichtbetonklassen und die Grundlagen der Beurteilung wurden nicht verändert.

Das neue Merkblatt umfasst nun 53 Seiten statt bisher 50 Seiten, es wurde teilweise neu gegliedert sowie ein Kapitel (5.3) sowie der Anhang B neu eingefügt. Des Weiteren wurden einige neue Begriffe eingeführt.

Im Vorwort werden die Zielstellung und Zielgruppen des Merkblattes genannt: Ziel ist die Förderung der Kommunikation zwischen den am Bau Beteiligten durch „Systematisierung und Klassifizierung der unterschiedlichen Anforderungen an Sichtbeton“ von der Planung bis zur Beurteilung von Sichtbetonbauwerken [1]. Zielgruppen für die Anwendung des Merkblattes sind daher Auftraggeber, Architekten, Planer, Bauunternehmer, Bauüberwacher sowie Baustoff- und Bauhilfsstofflieferanten.

Im Vorwort wird explizit darauf hingewiesen, dass bei Anwendung des Merkblattes zu beachten ist, dass eine erfolgreiche Umsetzung der Empfehlungen

und Merkmale keine absolute Größe ist, sondern dass die Leistungen „eindeutig zu spezifizieren, ordnungsgemäß auszu-schreiben und von qualifizierten Unternehmen zu erbringen sind“ [1].

Nachfolgend werden die **wesentlichen Änderungen** im Vergleich zu den Fassungen 2004/2008 entsprechend der Gliederung im Merkblatt zusammengefasst.

BEGRIFFE

In Kapitel 2 „Begriffe“ werden neu eingeführt und beschrieben:

- Schalungselement: baupraktisch „Schalelement“; transportable Umsetzeinheit einer Schalung
- Schalungsstoß: baupraktisch Elementstoß; Stoß zwischen Schalungselementen)
- Schalungshautstoß: baupraktisch Schalhautstoß; Stoß innerhalb eines Schalungselements
- Arbeitsfuge: durch den Baufortschritt erzwungene horizontal oder vertikal verlaufende Trennfläche zwischen Betonierabschnitten
- Sichtbetonteam: vom Auftraggeber/ Bauherrn einzusetzen

REGELWERKE UND VERTRAGLICHE EINBINDUNG DES MERKBLATTS (MERKBLATTKAPITEL 3):

In diesem Abschnitt wird die Anwendung des Merkblattes für Ausschreibungen und Bauverträge für die Herstellung, Beurteilung und Nachbesserung empfohlen, da das Aussehen von Sichtbetonflächen in den bestehenden und im Merkblatt genannten Regelwerken nicht oder nicht ausreichend beschrieben ist. Die Anwendung des Merkblattes ist dann vertraglich festzuschreiben.



↑ DBV/VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“
Bildrechte: DBV

SICHTBETONKLASSEN UND DIE VERKNÜPFUNG MIT TECHNISCHEN MERKMALEN (MERKBLATTKAPITEL 4):

In Kapitel 4 wurden die Tabellen 1 bis 3 umbenannt sowie redaktionell und z. T. inhaltlich überarbeitet. Nicht verändert hat sich die Einteilung der Sichtbetonklassen.

- Änderungen in Tabelle 1 (Sichtbetonklassen und zugehörige Anforderungsklassen):

Die Zahl der Fußnoten wurde verringert, die frühere Fußnote 2 wurde als Hinweis in die Tabelle aufgenommen, wonach der Gesamteindruck einer Sichtbetonfläche das entscheidende Beurteilungskriterium für die vereinbarte Sichtbetonklasse ist, d. h. Gesamteindruck geht vor Einzelkriterium! Des Weiteren wurde der Hinweis aufgenommen, dass jedes Bauteil ein „Unikat“ ist, in dem geringe Unregelmäßigkeiten in allen SB-Klassen charakteristisch sind.

► Neuerungen im DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton

- Änderungen in Tabelle 2 (Merkmale der Anforderungen gemäß Tabelle 1):
 - Die frühere Spalte „Kriterium“ wurde zu „Merkmal“, die frühere Spalte „Kurzzeichen“ zur „Anforderungsklasse“.
 - Die Porigkeitsklassen P1 bis P4 wurden aus Tabelle 4 in Tabelle 2 aufgenommen.
 - In den Farbtongleichmäßigkeitsklassen FT1 bis FT3 gibt es keine Festlegung mehr zu Rostflecken. Aus „Schalhaut“ wird „Schalungshaut“.
 - Arbeitsfugen: In der Anforderungsklasse AF4 ist ein Versatz im Fugen- bzw. Stoßbereich bis ca. 3 mm (bisher 5 mm) zulässig.
- Änderungen in Tabelle 3 (Schalungshautklassen):
 - Die frühere Zeile 8 „Reparaturstellen“ wurde gestrichen und inhaltlich in die Tabelle bzw. Fußnoten eingearbeitet.
 - Bohrlöcher dürfen nicht nur mit Kunststoff- sondern auch mit Holzstöpseln oder geeigneten Reparaturverfahren verschlossen werden.
 - In SHK2 sind leichte Kratzer bis 1 mm Tiefe zulässig, ansonsten als „Reparaturstelle“ zulässig.
 - Ein Aufquellen der Schalungshaut in SHK2 ist jetzt in Sichtbetonklasse SB2 zulässig, in SB3 nicht.
 - In SKH3 gilt nun in Absprache mit dem Auftraggeber: Für Bohrlöcher, Nagel- und Schraublöcher, Kratzer können Reparaturstellen vereinbart werden, Zementschleier können zulässig sein (Fußnoten 3 und 4)

PLANUNG UND AUSSCHREIBUNG (MERKBLATTKAPITEL 5)

In Kapitel 5.1.2 werden zusätzlich zu den in den Fassungen 2004/2008 genannten weitere Eigenschaften bzw. Forderungen definiert, die

- nicht oder nicht sicher herstellbar sind:
 - ohne Dunkelverfärbungen bei niedrigen Temperaturen,
 - rostfleckenfreie Untersichten (alt: eingeschränkt vermeidbar),
- im Allgemeinen vermeidbar sind: Rostflecken durch Bewehrungsreste.

In Kapitel 5.1.3 „Bautechnische Grundsätze“ wurden zusätzliche Festlegungen aufgenommen:

- Für eine „hinreichend gegebene Betonierbarkeit“ [1] sind Mindestabstände der Bewehrung zu beachten, eine Betondeckung c_v (Verlegemaß) bei allen Expositionsklassen ≥ 30 mm einzuhalten und Fugen, Betonierabschnitte und Einbauteile zweckmäßig anzuordnen und auszubilden.
- Risse mit normgerechter Rissweite sind hinzunehmen.
- Bei Selbstverdichtendem Beton (SVB) sind zusätzlich die DAfStB-Richtlinie und das DBV-Merkblatt Selbstverdichtender Beton zu beachten.
- Rostflecken an Bauteiluntersichten sind nur durch besondere Maßnahmen (z.B. Einhausung, nicht rostende Bewehrung) vermeidbar.

Im Kapitel 5.1.6 „Farbliche Gestaltung von Sichtbetonflächen“ wird nun das Aufbringen einer Lasur als Alternative zur Durchfärbung mit Pigmenten genannt. Probeflächen werden empfohlen.

In Kapitel 5.2 „Ausschreibung (Entwurfsplanung und Leistungsbeschreibung)“ wurde aus der früheren Tabelle 5 „Eigenschaften verschiedener Schalnhäute“ Tabelle 4 „Orientierungshilfe bei der Auswahl von Schalungshäuten“. Hier wurde eine neue Fußnote 3 eingefügt, die darauf hinweist, dass das Saugverhalten von Schalungshäuten und damit auch die Farbtonung des Betons durch verschiedene Faktoren (z. B. Liegezeit, Einsatzhäufigkeit) beeinflusst wird.

Neu aufgenommen wurde Kapitel 5.3 „Schutz der fertigen Leistung“. Hier wird auf §4(5) der VOB/B verwiesen, in dem die Pflicht des Auftragnehmers zum Schutz der von ihm ausgeführten Leistungen / übergebene Gegenstände vor Beschädigung und Diebstahl bis zur Abnahme geregelt ist. Es wird empfohlen, Umfang und Methoden des Schutzes im Leistungsverzeichnis anzugeben und entsprechend des Baufortschritts festzulegen.

ANFORDERUNGEN AN DIE AUSFÜHRUNG (MERKBLATTKAPITEL 6)

In Kapitel 6.3 „Beton“ wurden als „bewährte Maßnahmen“ [1] die nachfolgend genannten Punkte neu aufgenommen:

- Für SB3 und SB4 wird die Prüfung der Blutneigung mit dem DBV-Eimerverfahren in der Erstprüfung empfohlen.
- Das Größtkorn der Gesteinskörnung bis 16 mm, ggf. kleiner wählen.
- Die Einbaukonsistenz sollte bei F3 und höher (F2 wurde gestrichen) liegen.
- Die Festlegung von Sommer- und Winterrezepturen wird empfohlen.
- Es wird empfohlen, in Vorversuchen die Eignung der Rezepturen an Erprobungsflächen oder Prüfschalungen zu prüfen.

► Neuerungen im DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton

Aus dem Kapitel gestrichen und in den Anhang A3 (Farbtongleichmäßigkeit) aufgenommen wurde der Hinweis auf Farbtenschwankungen bei abweichenden w/z-Werten (ab $\pm 0,02$), ebenso die Empfehlung, dass das Ausbreitmaß vom vereinbarten Ausbreitmaß um nicht mehr als ± 20 mm abweichen sollte.

In Kapitel 6.4 „Bauausführung“ wurde die freie Fallhöhe von früher 1 m auf maximal 50 cm begrenzt.

Des Weiteren wurde der Hinweis auf flüssige Nachbehandlungsmittel gestrichen, d.h. der Passus, dass flüssige Nachbehandlungsmittel eingesetzt werden dürfen, wenn in Vorversuchen keine Beeinträchtigung der Sichtbetonfläche festgestellt wurde.

BEURTEILUNG (MERKBLATTKAPITEL 7)

In Kapitel 7.1 „Grundlagen“ wurde der Hinweis aufgenommen, dass frisch ausgeschalte Betonoberflächen zur Endbeurteilung meist ungeeignet sind und ausreichend Zeit zur Abtrocknung einzuräumen ist. Des Weiteren, dass Außenbauteile nicht bei Regen oder sehr hoher rel. Luftfeuchte beurteilt werden sollten.

In Kapitel 7.2 „Gesamteindruck“ wird festgelegt – wie auch bereits im Hinweis in Tabelle 1 – dass der Gesamteindruck und nicht Einzelmerkmale entscheidend sind für die Beurteilung von Sichtbetonflächen und für die Einstufung in die vereinbarte Sichtbetonklasse. Daher soll, wenn der Gesamteindruck des Bauteils / Bauwerks in seiner Gestaltungswirkung nicht gestört ist, die Verfehlung von Einzelmerkmalen nicht zu einer Nachbesserungspflicht führen.

Die Mängelbeseitigung ist in Kapitel 7.4.2 „Beseitigung von Abweichungen“ beschrieben. Dieses wurde gekürzt und stärker auf den Einsatz betonkosmetischer Fachbetriebe hingewiesen.

„ANFORDERUNG AN DIE PLANUNG, ERPROBUNG UND AUSFÜHRUNG“ (ANHANG A)

Anhang A wurde inhaltlich aktualisiert, die Festlegungen bezüglich der Erprobungsflächen finden sich nicht mehr in den Tabellen A1 bis A5 – dort war je nach Anforderungsklasse eine bestimmte Anzahl von Probeflächen vorgesehen – sondern wurden als neue Tabelle A6 aufgenommen mit im Vergleich zu den Fassungen von 2004/2008 „geringeren“ Anforderungen:

- SB1: Erprobungsflächen freigestellt
- SB2: Erprobungsflächen empfohlen zur Abstimmung von Schalung, Trennmittel, Beton, Einbau und Verdichtung, Tests an Prüfschalungen „zweckdienlich“

- SB3: Erprobungsflächen dringend empfohlen zur Abstimmung von Schalung, Trennmittel, Beton, Einbau und Verdichtung, ggf. Tests an Prüfschalungen
- SB4: wie für SB3, jedoch mindestens 2 Erprobungen erforderlich, ggf. in Verbindung mit Tests an Prüfschalungen

In Tabelle A3 wurde für die Farbtongleichmäßigkeitsklasse FT3 neu aufgenommen, dass zur Vermeidung von Kalkausblühungen an pigmentiertem Beton geeignete Verfahren gewählt werden sollen.

BioQuant, Heidelberg
Staab Architekten, Berlin



► Neuerungen im DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton

EMPFEHLUNGEN FÜR PLANUNG UND ÜBERWACHUNG DER AUSFÜHRUNG (ANHANG B)

Anhang B (siehe Tabelle B) wurde neu ins Merkblatt aufgenommen mit der Bitte der Herausgeber, Erfahrungen mit der Anwendung der Tabelle rückzumelden.

VERFÄRBUNGEN DER BETONOBERFLÄCHE (ANHANG F)

Bezüglich Blau- und Grünverfärbungen (F.2) wurde die Aussage aufgenommen, dass der Entfärbungsvorgang mehrere Monate dauern und bei hohen Druckfestigkeiten dauerhaft sein kann.

Sehr viel ausführlicher als in den Fassungen von 2004/2008 wird in Anhang F.3 auf die Entstehung und Vermeidung / Beseitigung von fleckigen Dunkelverfärbungen eingegangen. Als Ursache werden feste $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Ablagerungen (nach Carbonatisierung: CaCO_3) in den Kapillarporen genannt, durch die die Porosität sinkt, das Gefüge feinporiger wird und die sich bei geringen Verdunstungsraten im oberflächennahen Gefüge absetzen. Die Oberfläche verfärbt sich dann dunkel. Als Möglichkeiten zur Verhinderung der Entstehung von Dunkelverfärbungen werden z. B. die Vermeidung von Winterbetonagen, die Erhöhung der Verdunstungsrate oder eine möglichst vollflächige Entfernung der Schalung nach Lösen der Schalungsanker genannt. Zur Beseitigung bzw. zur Verbesserung des optischen Erscheinungsbildes werden die dauerhafte Trocknung der Oberfläche sowie das Abschleifen der Oberfläche genannt.

S	1	2	3			
Z	Gegenstand	Empfehlungen	Sichtbetonklassen			
			SB 1	SB 2	SB 3	SB 4
1	Abstimmung im Planungsprozess	gemäß [R7]	X			
		zusätzlich Sichtbetonteam nach Abschnitt 6.5 zur planerischen Abstimmung der Haustechnik, der Bewehrung und der Einbauteile auf die Betonierbarkeit		X		
		zusätzlich Sichtbetonteam nach Abschnitt 6.5 zur planerischen Abstimmung der Haustechnik, der Bewehrung und Einbauteile auf die Betonierbarkeit und Festlegung der schalungstechnischen Details für Fugen, Kanten etc.			X	X
2	Gliederung der Oberfläche (Planung)	gemäß DIN 18331 [R7], mit geordnetem Schalungsbild	X	X		
		Gliederung nach Skizzen des Planers			X	
		Gliederung nach Schalungsmusterplan des Planers				X
3	Ausführung und Qualitätssicherung	gemäß DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3 [R5]	X			
		zusätzlich Schalungsvorbereitung durch den Unternehmer		X		
		zusätzlich Schalungsvorbereitung durch den Unternehmer und sichtbetontechnische Überwachung der Ausführung durch eine Fachkraft des Unternehmers			X	
		zusätzlich Schalungsvorbereitung durch den Unternehmer, sichtbetontechnischer Überwachung der Ausführung durch eine Fachkraft des Unternehmers und mit sichtbetontechnischem Qualitätssicherungsplan				X

↑ Tabelle B: Empfehlungen für Planung und Überwachung der Ausführung (SB-Merkblatt Sichtbeton 2015, Anhang B)

[1] DBV/VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“, Fassung Juni 2015.

Beurteilung der Reaktivität von Spritzbetonsystemen mit dem Beschleuniger-Systemtest (BEST)



Dr. Jennifer C. Scheydt,
Projektingenieurin
Bauberatung,
HeidelbergCement,
Entwicklung und
Anwendung,
Leimen

Zur Beurteilung der Reaktivität von Spritzbetonsystemen gibt es verschiedene Prüfverfahren, zum Beispiel den Laborspritzversuch. Hierbei werden Prüfplatten aus Spritzbeton hergestellt, an denen die Festigkeitsentwicklung des beschleunigten Betons ermittelt wird. Das Laborspritzverfahren ist zeitaufwendig und daher weniger geeignet, um z. B. bei Problemen auf der Baustelle eine kurzfristige Optimierung der Spritzbetonperformance durchzuführen.

Die Abteilung Entwicklung und Anwendung der HeidelbergCement AG hat nun ein Prüfverfahren weiterentwickelt,

das eine schnelle Beurteilung und Optimierung von Spritzbetonsystemen ermöglicht. Beim sogenannten Beschleuniger-Systemtest (BEST) wird der Eindringwiderstand an Mörtelsystemen bestimmt, was die Versuchsdurchführung beschleunigt und vereinfacht.

SPRITZBETONBAUWEISE

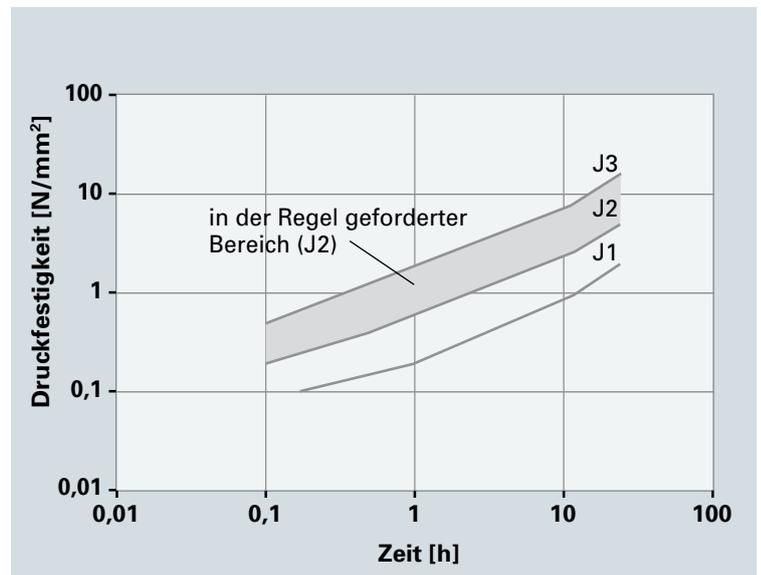
Seit den 1960er Jahren hat sich im europäischen Tunnelbau die Spritzbetonbauweise etabliert. Bei der Spritzbetonbauweise erfolgt zunächst der Ausbruch des anstehenden Gesteins z. B. durch Sprengen. Im Anschluss wird die entstehende Gebirgsoberfläche durch das Aufbringen von Spritzbeton gesichert. Im Tunnelbau wird heute überwiegend das Nassspritzverfahren verwendet (Abb. 1, links).

Hierbei wird der Beton als sogenanntes Bereitstellungsgemisch bis zur Spritz-

düse befördert. Dort wird Erstarrungsbeschleuniger zugesetzt, der eine schnelle Festigkeitsentwicklung insbesondere des über Kopf aufgetragenen Spritzbetons bewirken soll. Aus Gründen der Arbeitssicherheit kommen in der Regel alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger zur Anwendung.

Bis zu einem Betonalter von 24 Stunden wird Spritzbeton entsprechend seiner Festigkeitsentwicklung in die Frühfestigkeitsklassen J1, J2 oder J3 nach DIN EN 14487-1 [1] eingestuft (Abb. 1, rechts). Häufig wird von bauausführender Seite die Frühfestigkeitsklasse J2 gefordert.

Vor dem Einsatz eines Spritzbetonzements auf der Baustelle müssen dessen Verhalten im reaktiven Spritzbetonsystem sowie die Einflussfaktoren auf die Reaktivität des Systems bekannt sein. Dies ist mit Hilfe verschiedener Prüfverfahren möglich.



↑ Abb. 1: Nassspritzverfahren im Tunnelbau (links) und Frühfestigkeitsklassen J1, J2 und J3 zur Einstufung von Spritzbeton (rechts)

► Beurteilung der Reaktivität von Spritzbetonsystemen mit dem Beschleuniger-Systemtest (BEST)

LABORSPRITZVERFAHREN

Ein bewährtes Verfahren zur Beurteilung der Spritzbetonperformance ist der Laborspritzversuch, der im Labor der Abteilung Entwicklung und Anwendung durchgeführt wird. Hierbei werden Prüfplatten nach DIN EN 14488-1 [2] hergestellt (Abb. 2). An diesen sog. „Spritzkisten“ wird über einen Zeitraum von 24 Stunden die zeitliche Entwicklung der Druckfestigkeit ermittelt und es kann eine Einteilung des Spritzbetons in die Frühfestigkeitsklassen J1, J2 und J3 erfolgen. Der Laborspritzversuch wird unter Verwendung von 110 Litern Beton (sog. „Bereitstellungsgemisch“) durchgeführt. Die Durchführung des Versuchs dauert insgesamt einen Arbeitstag und es werden ein bis drei Laboranten benötigt.



↑ Abb. 2: Herstellung von Prüfplatten (sog. „Spritzkisten“) im Laborspritzversuch

BESCHLEUNIGER-SYSTEMTEST (BEST)

Im Beschleuniger-Systemtest (BEST) wird die Eindringkraft eines Penetrometers in einen Mörtel nach Zugabe von Erstarrungsbeschleuniger in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt. Die Messwerte werden meist über einen Zeitraum von einer Stunde erfasst. Dies ist zur Beurteilung der anfänglichen Reaktivität des Spritzbetonsystems, die für das Über-Kopf-Spritzen ausschlaggebend ist, in der Regel ausreichend.

Der BEST basiert auf dem Penetrometersversuch der Kurita Europe APW GmbH [3], welcher durch die Abteilung Entwicklung und Anwendung der HeidelbergCement AG modifiziert wurde. So erfolgt zum Beispiel der Vorschub des Penetrometers im BEST nicht manuell, sondern automatisch. Hierdurch wird eine konstante Eindringkraft gewährleistet. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3 dargestellt. Die Durchführung des BEST erfolgt im Laborklima (20°C, 65 % r. F.) an 0,3 Litern Mörtel.



↑ Abb. 3: Versuchsaufbau zur Durchführung des Beschleuniger-Systemtests (BEST) mit automatisiertem Vorschub

Pro Arbeitstag können von einem Laboranten 8 bis 10 Versuche durchgeführt werden. In Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe des BEST genauso wie mit dem Laborspritzversuch eine aussagekräftige Differenzierung unterschiedlich reaktiver Systeme möglich ist [4].

► Beurteilung der Reaktivität von Spritzbetonsystemen mit dem Beschleuniger-Systemtest (BEST)

Zur Beurteilung der Reaktivität eines Systems ist zunächst die Kenntnis der Streubreite des BEST erforderlich. Für den Zement 1 mit einer Beschleunigerdosierung von 6,5 % und eine Fließmiteldosierung von 1,1 % bezogen auf das Zementgewicht ist die Streubreite beispielhaft in Abb. 4 dargestellt.

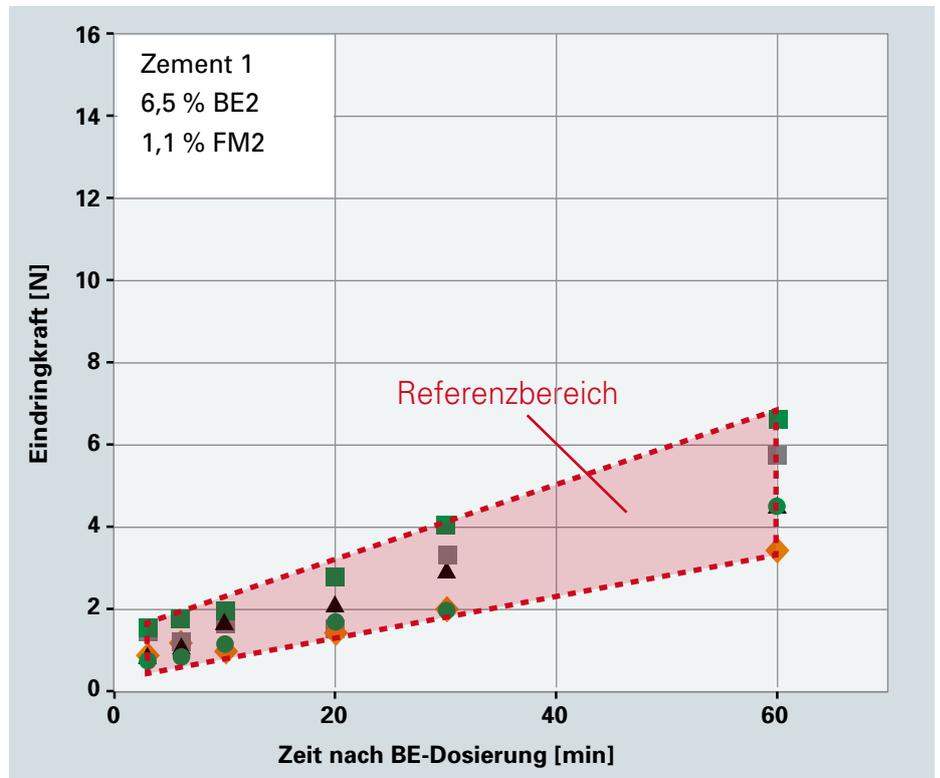
Diese Streubreite muss für jede Zement-sorten eines Herstellwerks ermittelt werden, die für den Spritzbetoneinsatz auf der Tunnelbaustelle vorgesehen ist. Die zur Ermittlung der Streubreite eingesetzte Zementprobe muss eine unter Baustellenbedingungen bekannte, durchschnittliche und hinreichende Performance im Spritzbeton aufweisen.

Ist dies gewährleistet, so dient die mittels BEST generierte Streubreite als Referenzbereich und kann zur Beurteilung bzw. Überwachung der Reaktivität des Spritzbetonzements bzw. des beschleunigten Mörtelsystems herangezogen werden. Die Versuchsergebnisse von im Vergleich zum Referenzmörtel reaktiveren, also leistungsfähigeren Systemen müssen dann im BEST deutlich oberhalb des zugehörigen Referenzbereichs liegen. Weniger reaktive, leistungsschwächere Systeme führen hingegen zu Versuchsergebnissen unterhalb des Referenzbereichs.

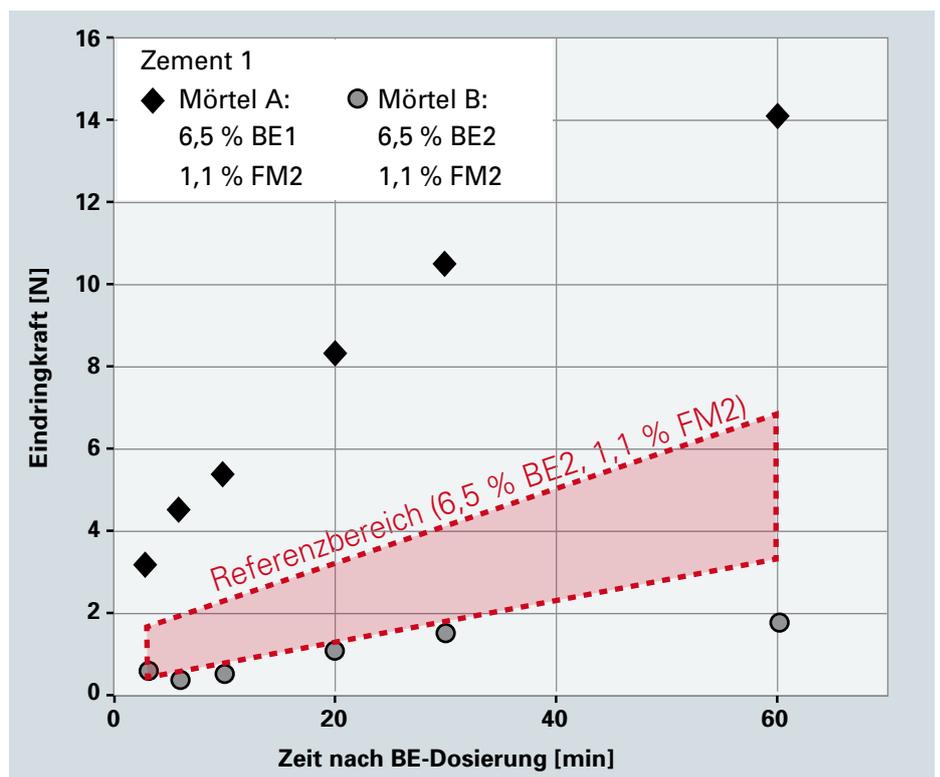
BEURTEILUNG DER REAKTIVITÄT VON SYSTEMEN MITTELS BEST

In Abb. 5 sind zwei unterschiedlich reaktive Mörtelsysteme dargestellt. In Mörtel A wurde der Erstarungsbeschleuniger BE1 eingesetzt, der zu einem deutlich reaktiveren System führt, als die Verwendung des Referenzbeschleunigers BE2. Die mit Mörtel A erzielten Eindringkräfte liegen daher deutlich oberhalb des Referenzbereichs.

Die Messdaten zu Mörtel B stellen Versuchsergebnisse im Rahmen der



↑ Abb. 4: Streubreite (d. h. Referenzbereich) des BEST mit Zement 1 sowie 6,5 % Erstarungsbeschleuniger (BE2) und 1,1% Fließmittel (FM2)



↑ Abb. 5: Beurteilung der Reaktivität von Mörtelsystemen mit Hilfe des BEST (BE: Erstarungsbeschleuniger, FM: Fließmittel)

► Beurteilung der Reaktivität von Spritzbetonsystemen mit dem Beschleuniger-Systemtest (BEST)

Eigenüberwachung des Zements 1 (Spritzbetonzement) dar. Obwohl derselbe Erstarrungsbeschleuniger sowie dasselbe Fließmittel wie im Referenzmörtel bei gleicher Dosierung eingesetzt wurden, lagen die ermittelten Eindringkräfte unterhalb des Referenzbereichs. Als Ursache für die geringere Reaktivität des Systems wurde die untersuchte Zementcharge identifiziert und es konnten Gegenmaßnahmen in der Zementproduktion eingeleitet werden.

OPTIMIERUNG DER SPRITZBETON-PERFORMANCE MIT HILFE DES BEST

Für den Einsatz auf einer Tunnelbaustelle wurde im Rahmen einer Erstprüfung eine Betonrezeptur mit einem Zementgehalt von 380 kg/m^3 bei einem Wasserzementwert von $0,50$ festgelegt. Das Fließmittel wurde mit $1,1 \%$ vom Zementgewicht dosiert. Die zum zielsicheren Erreichen der Festigkeitsklasse J2 benötigte Beschleunigerdosierung betrug $6,5 \%$ vom Zementgewicht bei einer Betontemperatur von $21,0 \text{ °C}$ vor Beschleunigerzugabe.

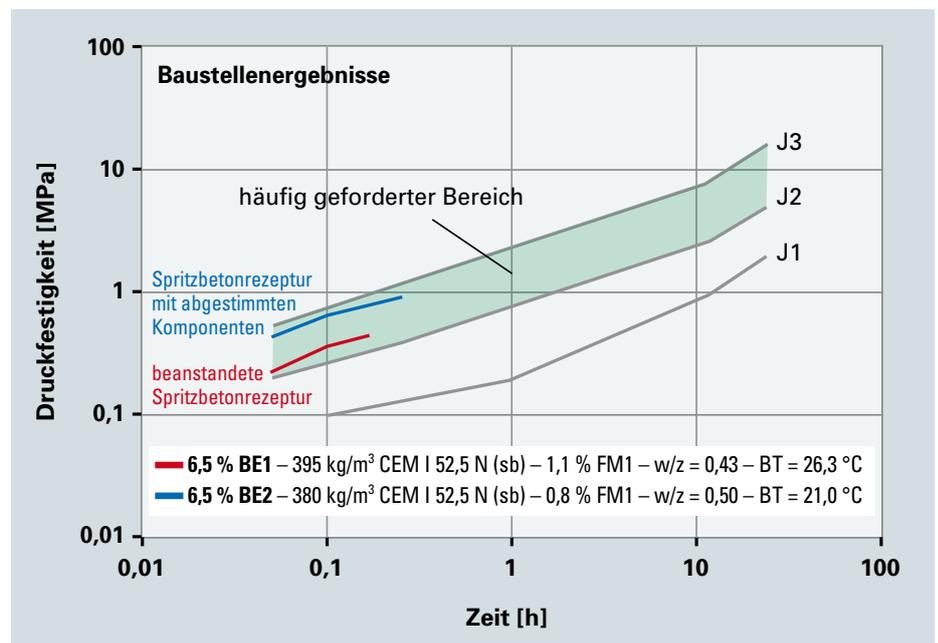
Nachdem der so konzipierte Spritzbeton über einen längeren Zeitraum beanstandungsfrei verarbeitet wurde, meldete die Tunnelbaustelle eine nicht mehr ausreichende Spritzbetonperformance. Zwar erreichte der Spritzbeton in den ersten Minuten wie gefordert die Frühfestigkeitsklasse J2. Dennoch war trotz eines erhöhten Zementgehalts von 395 kg/m^3

Beton, eines reduzierten Wasserzementwerts von $0,43$ und einer durch Beheizen erzielten Temperatur des Bereitstellungsgemischs von ca. 26 °C zeitweise kein Über-Kopf-Spritzen möglich (vgl. Abb. 6, rote Kurve).

Aufgrund dessen war eine zügige Problembehebung erforderlich, bei der die Abteilung Entwicklung und Anwendung die Baustelle unterstützte. Auf Grundlage einer Versuchsreihe unter Anwendung des BEST erfolgte der Austausch des ursprünglich eingesetzten Erstarrungsbeschleunigers BE1 durch das alternative Produkt BE2. Die angepasste Spritzbetonrezeptur mit abgestimmten Kompo-

ponenten war im Vergleich zur bemängelten Rezeptur deutlich reaktiver (vgl. Abb. 6, blaue Kurve). Hierdurch war es möglich, den Zementgehalt wieder um 15 kg/m^3 auf 380 kg/m^3 Beton zu senken, wie auf Basis der Erstprüfung vorgesehen. Außerdem musste das Bereitstellungsgemisch nicht mehr beheizt werden, und der Fließmittelgehalt konnte auf $0,8 \%$ vom Zementgewicht reduziert werden.

Zudem war der Spritzbeton deutlich robuster, das heißt auch unter wechselnden Randbedingungen, wie zum Beispiel veränderliche Temperaturen oder geologische Bedingungen, wurde eine ausreichende Spritzbetonperformance erzielt.



↑ Abb. 6: Festigkeitsentwicklung zweier Spritzbetone auf der Tunnelbaustelle (BE: Erstarrungsbeschleuniger, FM: Fließmittel, w/z: Wasserzementwert, BT: Temperatur des Bereitstellungsgemischs)

► Beurteilung der Reaktivität von Spritzbetonsystemen mit dem Beschleuniger-Systemtest (BEST)

FAZIT

Beim Einsatz von Spritzbeton auf einer Tunnelbaustelle werden effiziente Prüfverfahren benötigt, die eine zuverlässige Beurteilung der Spritzbetonperformance ermöglichen. Eine geeignete Methode ist der sogenannte Beschleuniger-Systemtest (BEST). Hierbei handelt es sich um ein Penetrationsverfahren, das die Eindringkraft eines Penetrometers in einen Mörtel nach Zugabe von alkali-freiem Erstarrungsbeschleuniger in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt. Der BEST kann zur Eigenüberwachung von Spritzbetonzement sowie auch zur Optimierung von Spritzbetonsystemen eingesetzt werden.

Im Rahmen der Begleitung einer Tunnelbaustelle führte der Einsatz des BEST erfolgreich zur Behebung einer unzureichenden Spritzbetonperformance. Durch die Abstimmung der reaktiven Komponenten der Spritzbetonrezeptur mittels BEST konnten die Frühfestigkeiten des Spritzbetons (bis ca. 10 Minuten nach Beschleunigerzugabe) verdoppelt werden. Der Spritzbeton war nach dieser Optimierung deutlich robuster, so dass auch unter wechselnden Randbedingungen eine ausreichende Spritzbetonperformance erzielt wurde.

LITERATUR

- [1] DIN EN 14487-1: Spritzbeton – Teil 1: Begriffe, Festlegung und Konformität. Beuth Verlag, Berlin, 2006
- [2] DIN EN 14488-1: Prüfung von Spritzbeton – Teil 1: Probenahme von Frisch- und Festbeton. Beuth Verlag, Berlin, 2005
- [3] Kurita Europe APW GmbH (ehemals BK Giuliani GmbH): Prüfanweisung zum Penetrometerversuch. Ludwigshafen, 2014
- [4] Scheydt, J. C.: Einsatz des Beschleuniger-Systemtests (BEST) zur Beurteilung von Spritzbetonzement. In: 19. Internationale Baustofftagung (ibausil), Stark, J. (Hrsg.), F. A. Finger Institut, Weimar, 2015, Band 1, S. 1-1287 bis 1-1294