

NEWSLETTERTECHNIK

August 2015

Entwicklung und Anwendung

HEIDELBERGCEMENT



ECHT. STARK. GRÜN.

Liebe Leserinnen und Leser,

in dieser Ausgabe unseres Newsletters Technik greifen wir zwei Themen aus dem Bereich der Prüfung von Beton auf, mit denen wir uns bei E&A aufgrund aktueller Anfragen in der letzten Zeit beschäftigt haben. Zum einen betrifft das die Prüfung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit und ohne PP-Fasern, zum anderen die kürzlich eingeführten Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Prüfung der Mischungsstabilität von Betonen für Wasserbauwerke.

Die XF2-Prüfung mit dem sogenannten modifizierten CDF-Verfahren beleuchtet Herr Dipl.-Ing. Maik Seidel vom VDZ auf Basis von Versuchsergebnissen, die sowohl in VDZ-internen Versuchen als auch in Vergleichsversuchen mit mehreren anderen Laboren ermittelt wurden.

Die Bundesanstalt für Wasserbau hat in ihrem BAW-Brief 1/2015 Ad-hoc-Maßnahmen zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton eingeführt, die sowohl für die Prüfung, als auch für die Herstellung und Ausführung von Wasserbauwerken aus Beton und Stahlbeton gelten. In meinem Artikel zu diesem Thema habe ich die dort festgelegten und bereits schon eingeführten Maßnahmen zusammengefasst.

Eine kurze Info ist uns auch die inhaltliche Aktualisierung der Betontechnischen Daten im Internet wert, die gleichzeitig auch an das Web-Layout von HeidelbergCement angepasst wurden.

Ich wünsche Ihnen auch heute wieder eine interessante Lektüre.

Ihre

Dagmar Küchlin

Bauberatung Zement,

Entwicklung und Anwendung, Leimen



→ **Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?**

[mehr >>](#)



→ **Die aktuellen Betontechnischen Daten von HeidelbergCement jetzt auch online**

[mehr >>](#)



→ **Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton**

[mehr >>](#)

Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?



Dipl.-Ing. Maik Seidel,
wissenschaftlicher Mitarbeiter
in der Abteilung Betontechnik,
VDZ Düsseldorf

ALLGEMEINES

Die Dauerhaftigkeit von Beton wird heute in den meisten Fällen anhand sog. deskriptiver Anforderungen an die Betonzusammensetzung, die Betondeckung und die Bauausführung sichergestellt. Diese in der Betonnorm DIN 1045-2 festgelegten Anforderungen richten sich nach den Umgebungsbedingungen, denen das jeweilige Betonbauteil ausgesetzt ist. Die Umwelteinwirkungen sind in sogenannte Expositionsklassen unterteilt.

Tabelle F2.2 der DIN 1045-2 legt Grenzwerte für die Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons in Abhängigkeit seiner maßgeblichen Expositions-klasse fest.

Muss Beton, der bei hoher Wassersättigung Tausalzen und Frosttauwechseln ausgesetzt ist (= Expositions-klasse XF4), neben den deskriptiven Anforderungen der Betonnorm DIN 1045-2 einer Laborprüfung unterzogen werden, wie zum Beispiel nach ZTV-W, kommt in vielen Fällen das CDF-Verfahren nach DIN CEN/TS 12390-9 zur Anwendung.

In Bauteilen für die Expositions-klasse XF2 ist im Vergleich zu Bauteilen für die Expositions-klasse XF4 von einer deutlich geringeren Wassersättigung und damit einer geringeren Beanspruchung bei Frost-Tauwechseln auszugehen. Bisher gibt es für XF2-Betone kein etabliertes Prüfverfahren. Die Anwendung des CDF-Verfahrens für XF2-Betone würde in diesen Fällen eine unangemessen hohe Beanspruchung

Expositions-klasse	Betonkorrosion					
	Frostangriff					
	XF1	XF2		XF3		XF4
Höchstzulässiger w/z	0,60	0,55 ^b	0,50 ^g	0,55	0,50	0,50 ^g
Mindestdruckfestigkeitsklasse ^b	C25/30	C25/30	C35/45 ^e	C25/30	C35/45 ^e	C30/37
Mindestzementgehalt ^c in kg/m ³	280	300	320	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	270	270 ^g	270 ^g	270	270	270 ^g
Mindestluftgehalt in %	-	f	-	f	-	f, j
Andere Anforderungen	Gesteinskörnungen für die Expositions-klassen XF1 bis XF4					
	F ₄	MS ₂₅		F ₂		MS ₁₈

↑ Tabelle 1: Auszug aus DIN 1045-2 Tabelle F.2.2

► Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?

darstellen. Daher wurden das Centrum Baustoffe und Materialprüfung cbm der TU München und die Universität Duisburg-Essen durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit der Entwicklung eines Labor-Prüfverfahrens für die Expositionsklasse XF2 beauftragt.

Wesentliche Änderungen des sogenannten modifizierten CDF-Verfahrens XF2 gegenüber dem CDF-Verfahren bestehen in

- der Anhebung der Minimaltemperatur von - 20 °C auf - 10 °C und
- der Verringerung der Anzahl der Frosttauwechsel von 28 auf 14.

Als Beurteilungskriterium wurde vom cbm ein Wert für die Abwitterung von $\leq 1000 \text{ g/m}^2$ vorgeschlagen.

UNTERSUCHUNGEN IM FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENTINDUSTRIE (FIZ)

Im Jahr 2010 wurden im Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, erste Untersuchungen mit dem modifizierten CDF-Verfahren XF2 durchgeführt. In dieser Versuchsreihe wurden 10 nach DIN 1045-2 Tab. F2.2 zusammengesetzte XF2-Betone ohne künstlich eingeführte Luftporen geprüft. Variiert wurden die Zemente: es kamen zwei CEM I-Zemente, ein CEM III/A, ein CEM II/B-LL und sechs CEM II/B-M (S-LL) aus 8 verschiedenen Zementwerken zum Einsatz (siehe Tabelle 2).

Die Betone waren wie folgt zusammengesetzt:

- $z = 320 \text{ kg/m}^3$
- $w/z = 0,50$
- Fließmittel auf Basis PCE (Zielkonsistenz F3 mit FM 0,2 bis 0,6 M.-% v. Zementgehalt)
- Gesteinskörnungen: Sieblinienbereich A16/B16 (Sande: Rheinsand 0/2, Quarzsand 1/2)

Beton	Verwendeter Zement	Werk
B1	CEM II/B-LL 32,5 R - AZ	1
B2	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R - AZ	2
B3	CEM II/B-M (S-LL) 52,5 N - AZ	3
B4	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R - AZ	4
B5	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N - AZ	5
B6	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N - AZ	6
B7	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R - AZ	7
B8-1	CEM I 32,5 R	8
B8-2	CEM I 42,5 R	8
B9	CEM III/A 42,5 N - LH/NA	1

↑ Tabelle 2: Übersicht der untersuchten Betone XF2 nach Zementart

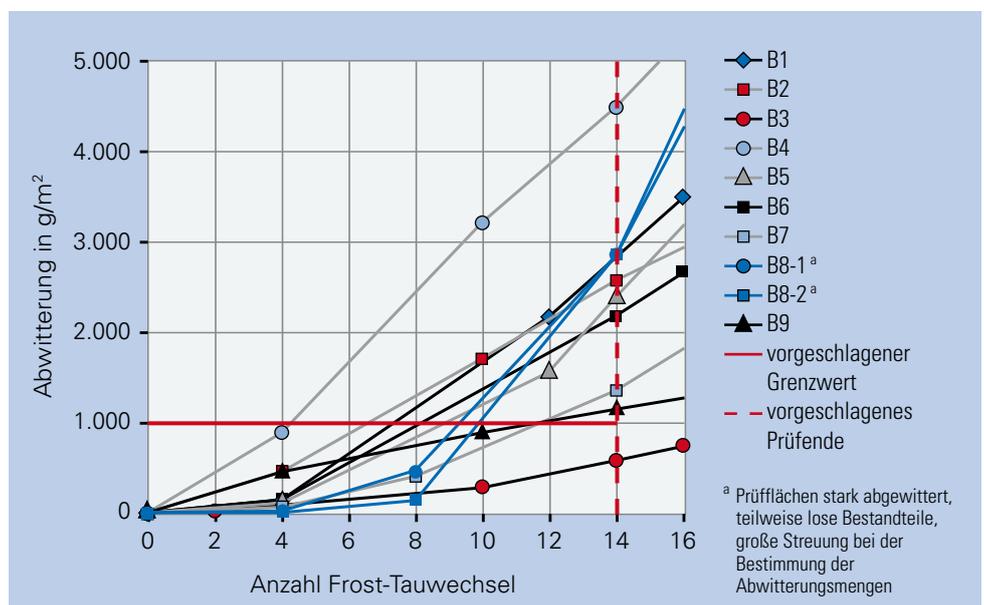
Versuchsergebnisse

Abwitterungsniveau

Wie aus Bild 1 und Tabelle 3 ersichtlich, wiesen die Betone nach 14 Frost-Tauwechseln Abwitterungsmengen zwischen rd. 600 g/m^2 und rd. 4500 g/m^2 auf. Unter der Maßgabe, dass alle XF2-Betone aufgrund ihrer Zusammensetzung XF2 entsprachen, passt das Ergebnis nicht: 9 von 10 Betonen überschritten den vorgeschlagenen Grenzwert; z. T. erheblich.

Streuungen

Die relative Spannweite zwischen maximaler und minimaler Abwitterungsmenge innerhalb einer Prüfkörperserie ($n = 5$) betrug bei 6 der 10 Betone ein Drittel bis knapp 50 % des Mittelwerts (s. Tabelle 3). 4 der 10 Variationskoeffizienten v innerhalb einzelner Serien sind gleich oder größer als der Variationskoeffizient v_r des CDF-Verfahrens nach DIN CEN/TS 12390-9, der unter Wiederholbedingungen ermittelt wurde ($v_r = 14 \%$, siehe Tabelle 4). Im Gegensatz zu den Variationskoeffizienten v ist in v_r neben der Prüfstreuung auch die Streuung aus



↑ Bild 1: Dehnungsverlauf der 10 XF2-Betone mit dem modifizierten CDF-Verfahren XF2 (FIZ-Untersuchungen)

► Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?

Beton	Zement	Mittelwert [g/m ²]	Min. Wert [g/m ²]	Max. Wert [g/m ²]	Spannweite [g/m ²]	Relative Spannweite [%]	s [g/m ²]	v [%]
B1	CEM II/B-LL 32,5 R - AZ	2843	2472	3313	842	30	317	11
B2	CEM II/B-M(S-LL) 32,5 R - AZ	2580	2404	2715	311	12	113	4
B3	CEM II/B-M(S-LL) 52,5 N - AZ	598	554	627	73	47	31	19
B4	CEM II/B-M(S-LL) 32,5 R - AZ	4496	4333	4713	381	8	198	4
B5	CEM II/B-M(S-LL) 42,5 N - AZ	2408	1730	2829	1099	46	472	20
B6	CEM II/B-M(S-LL) 42,5 N - AZ	2679	2501	2827	325	12	129	5
B7	CEM II/B-M(S-LL) 32,5 R	1366	1282	1498	216	16	90	7
B8-1	CEM I 32,5 R	2891	2418	3310	892	31	396	14
B8-2	CEM I 42,5 R	2858	2125	3125	1001	35	420	15
B9	CEM III/A 42,5 N - LH/NA	1157	1028	1398	370	32	148	13

↑ Tabelle 3: statistische Werte zur Abwitterung nach 14 Frost-Tauwechsell innerhalb einzelner Serien (minimale und maximale Werte fett dargestellt)

Legende

s = Standardabweichung, v = Variationskoeffizient, Min. Wert = Minimalwert der Abwitterungsmenge, Max. Wert = Maximalwert der Abwitterungsmenge

der Prüfkörperherstellung und die Streuung aus der Wiederholung der Messungen (mehrere Serien) enthalten.

Zwischenwertung

Nach DIN 1045-2 Spalte Tabelle F.3.1 Spalte „XF2“ zusammengesetzte Betone besitzen erfahrungsgemäß den für Bauteile der Expositionsklasse XF2 erforderlichen Frost-Tausalz widerstand. Gemessen am vorgeschlagenen Beurteilungskriterium fielen jedoch 90% dieser XF2-Betone im modifizierten CDF-Verfahren XF2 durch. Das bedeutet, dass das Ergebnis der Prüfung sich nicht mit dem Erfahrungshintergrund der genannten Regelwerke deckt. Hinzu kommt, dass die Spannweite der Ergebnisse bei den geprüften Betonen hoch und die Präzision damit eher gering ist. Dies erschwert die Bewertung der Ergebnisse. Daher stellt sich die Frage: Ist eine Grenzwertsetzung bei diesem hohen Abwitterungsniveau und den vorgefun-

Prüfverfahren	Abwitterungsgrad	Variationskoeffizient	
		Wiederholpräzision v _r	Vergleichpräzision v _R
Plattenprüfverfahren	1,0 kg/m ²	17	31
CF/CDF	1,5 kg/m²	14	29
Würfelpfverfahren	3 % (Massenanteil)	18	38

↑ Tabelle 4: Tabelle mit den Präzisionsdaten von drei Frost- bzw. Frost-Tausalzprüfverfahren nach DIN EN/TS 12390-9 für einen bestimmten Abwitterungsgrad

denen großen Spannweiten der Einzelergebnisse derzeit überhaupt möglich?

VERGLEICHSUNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER LABORE

Aufgrund des in den Untersuchungen des FIZ unerwartet hohen Abwitterungsniveaus und der hohen Spannweite der Prüfergebnisse normgerecht zusammengesetzter XF2-Betone wurde entschieden, eine Vergleichsuntersuchung mit dem modifizierten CDF-Verfahren XF2 zusammen mit sechs

Prüflaboren aus dem Kreis der VDZ-Mitgliedsunternehmen durchzuführen. Alle teilnehmenden Labore haben viel Erfahrung mit der CDF-Prüfung und sind z. T. dafür akkreditiert. Auch in dieser Versuchsreihe wurden nach DIN 1045-2 Tab. F.2.2 zusammengesetzte XF2-Betone ohne künstlich eingeführte Luftporen geprüft. Wie in der FIZ-internen Versuchsreihe wurden auch hier verschiedene Zemente eingesetzt (siehe Tabelle 5): ein CEM II/B-S 32,5 R (B1), ein CEM II/A-LL 32,5 R (B2), ein CEM I 32,5 R (B3) und ein CEM III/A 32,5 R (B4).

► Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?

Die Probekörper wurden gemäß DIN CEN TS 12390-9 im FIZ hergestellt, gelagert und zur Prüfung an die jeweiligen Labore verschickt.

Die Betone waren wie folgt zusammengesetzt:

- $z = 320 \text{ kg/m}^3$
- $w/z = 0,50$
- Fließmittel auf Basis PCE (Zielkonsistenz F3 mit FM 0,18 bis 0,53 M.-% v. Zementgehalt)
- Gesteinskörnung Sieblinienbereich A16/B16 (Sande: Rheinsand 0/2, Quarzsand 1/2)

Beton	Verwendeter Zement	Werk
B1	CEM II/B-S 32,5 R	1
B2	CEM II/A-LL 32,5 R	2
B3	CEM I 32,5 R	3
B4	CEM III/A 32,5 N-LH/NA	4

↑ Tabelle 5: Übersicht über die untersuchten Betone XF2

Versuchsergebnisse

Abwitterungsniveau

Obwohl alle teilnehmenden Labore sehr erfahren in der Prüfung mit dem CDF-Verfahren sind, unterschieden sich die ermittelten mittleren Abwitterungsmengen von Labor zu Labor zum Teil erheblich (siehe Bild 2 bis Bild 5 und Tabellen 6 bis 9).

Die Mittelwerte der Abwitterungsmengen betragen

- für den Beton B1 zwischen 1047 und 2551 g/m^2 (Faktor 2,4),
- für den Beton B2 zwischen 156 und 2311 g/m^2 (Faktor 14,8),
- für den Beton B3 zwischen 492 und 864 g/m^2 (Faktor 1,8) und
- für den Beton B4 zwischen 1363 und 2388 g/m^2 (Faktor 1,8).

Lediglich bei einem der vier untersuchten Betone (B3) lag die Abwitterung in allen Prüflaboren unterhalb des vorgeschlagenen Grenzwertes. Beton 2 wäre in 3 Prüflaboren durchgefallen,

in 4 Prüflaboren hätte er bestanden.

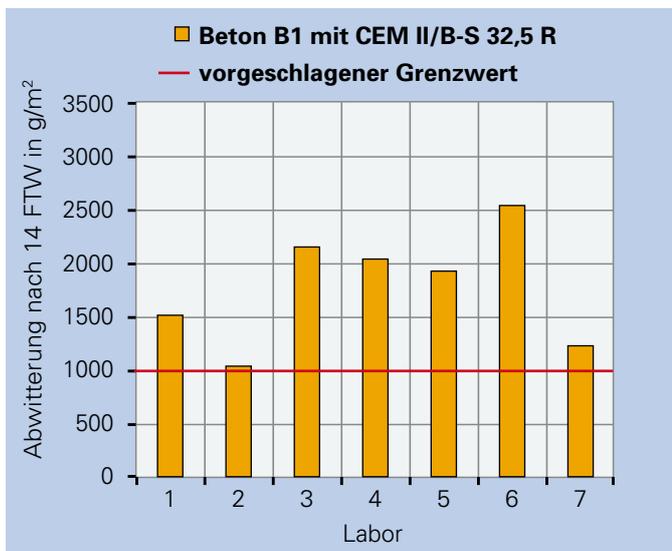
Beton 1 und Beton 4 wären in allen Laboren durchgefallen.

Weiterhin wird deutlich, dass die mittleren Abwitterungen für denselben Beton erhebliche Unterschiede aufweisen: so liegen z. B. die mittleren Abwitterungen bei Beton 2 zwischen 156 und 2311 g/m^2 - Faktor 14,8).

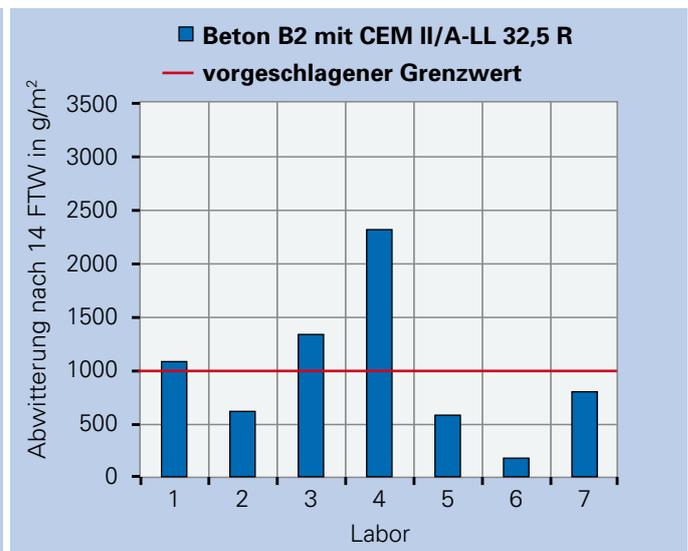
Eine Abhängigkeit der Höhe der Werte vom durchführenden Prüflabor ist nicht ersichtlich, d.h. ein systematischer „Prüffehler“ kann ausgeschlossen werden.

Streuungen

Für jede Probekörperserie wurden die Spannweite sowie die Standardabweichung und der Variationskoeffizient ermittelt (Tabelle 6 bis Tabelle 9). Mehrfach traten relative Spannweiten bis zur Höhe des Mittelwertes (100 %) und darüber hinaus (149 %) auf. Die niedrigsten und höchsten Werte aller Prüfungen sind in den o. g. Tabellen fett markiert.

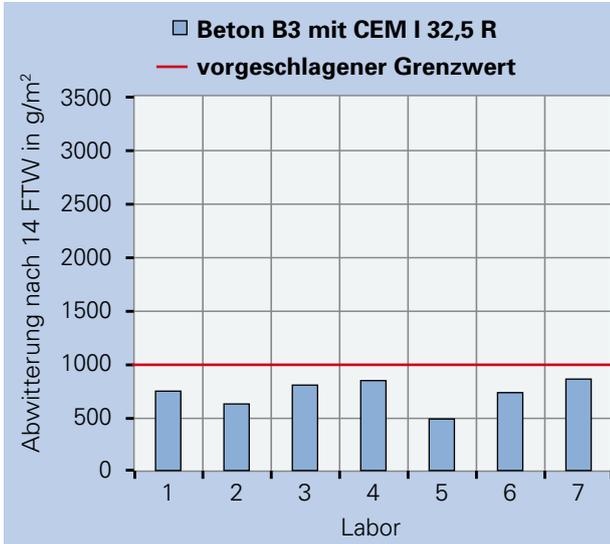


↑ Bild 2: Mittlere Abwitterungsmenge für Betone B1 (Vergleichsuntersuchung)

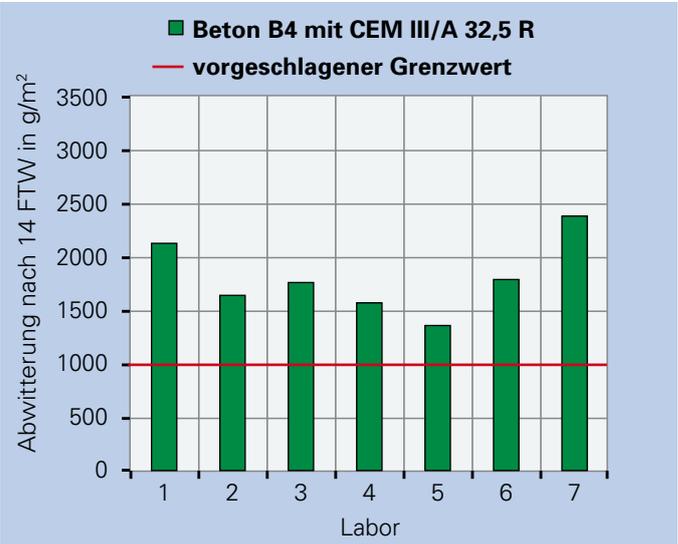


↑ Bild 3: Mittlere Abwitterungsmenge für Betone B2 (Vergleichsuntersuchung)

► Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?



↑ Bild 4: Mittlere Abwitterungsmenge für Betone B3 (Vergleichsuntersuchung)



↑ Bild 5: Mittlere Abwitterungsmenge für Betone B4 (Vergleichsuntersuchung)

Labor	Mittelwert [g/m²]	Min. Wert [g/m²]	Max. Wert [g/m²]	Spannweite [g/m²]	Relative Spannweite [%]	s [g/m²]	v [%]
1	1519	1168	1855	687	45	263	17
2	1047	753	1338	585	56	249	24
3	2167	1967	2405	438	20	189	9
4	2056	1597	2354	757	37	288	14
5	1942	1643	2375	732	38	279	14
6	2551	2180	2907	727	29	273	11
7	1234	907	1525	618	50	220	18

↑ Tabelle 6: Statistische Werte zur Abwitterung nach 14 Frost-Tauwechseln für Beton B1

Labor	Mittelwert [g/m²]	Min. Wert [g/m²]	Max. Wert [g/m²]	Spannweite [g/m²]	Relative Spannweite [%]	s [g/m²]	v [%]
1	1075	979	1313	334	31	135	13
2	581	444	695	251	43	100	17
3	1331	1066	1609	543	41	207	16
4	2311	1786	2679	893	39	368	16
5	568	414	767	353	62	166	29
6	156	108	216	108	69	54	35
7	782	645	872	227	29	96	12

↑ Tabelle 7: Statistische Werte zur Abwitterung nach 14 Frost-Tauwechseln für Beton B2

- Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?

vdz.

Labor	Mittelwert [g/m ²]	Min. Wert [g/m ²]	Max. Wert [g/m ²]	Spannweite [g/m ²]	Relative Spannweite [%]	s [g/m ²]	v [%]
1	754	267	1053	786	104	300	40
2	631	358	1001	643	102	251	40
3	805	687	914	227	28	83	10
4	853	574	977	403	47	163	19
5	492	252	985	733	149	303	62
6	735	340	1070	730	99	324	44
7	864	729	988	259	30	115	13

↑ Tabelle 8: Statistische Werte zur Abwitterung nach 14 Frost-Tauwechselln für Beton B3

Labor	Mittelwert [g/m ²]	Min. Wert [g/m ²]	Max. Wert [g/m ²]	Spannweite [g/m ²]	Relative Spannweite [%]	s [g/m ²]	v [%]
1	2128	1853	2333	480	23	182	9
2	1655	1563	1829	266	16	109	7
3	1769	1505	2442	937	53	385	22
4	1580	1293	2040	747	47	302	19
5	1363	1147	1768	621	46	237	17
6	1783	1513	2212	699	39	269	15
7	2388	1889	3040	1151	48	419	18

↑ Tabelle 9: Statistische Werte zur Abwitterung nach 14 Frost-Tauwechselln für Beton B4

Bei 6 von 28 Prüfserien lag der Variationskoeffizient mit 35 bis 62 % oberhalb des nach DIN CEN/TS 12390 angegebenen Variationskoeffizienten V_R unter Vergleichsbedingungen von 29 %. Und das obwohl der Variationskoeffizient v_R zusätzlich zur Prüfstreuung noch die Streuungen enthält, die aus der Herstellung der Probekörper, aus der Wiederholung der Messungen (mehrere Serien) und aus der Verschie-

denheit der Laborausstattungen, Arbeitsweise der Labormitarbeiter etc. resultieren.

Zwischenwertung

Für die Vergleichsversuche gilt analog zu den FIZ-internen Versuchen: Alle Betone waren nach DIN 1045-2 für XF2 geeignet. Dies wird jedoch lediglich durch das Prüfergebnis eines Betons (B3) in allen Laboren bestätigt. 2 der 4

Betone (B1 und B4) wären in allen Laboren durchgefallen. Beton B2 hätte je nach Labor die Prüfung bestanden oder wäre durchgefallen: 4 Mal „bestanden“ vs. 3 Mal „nicht bestanden“. Das heißt, eine durchgängig korrekte Bewertung aller untersuchten Betone hinsichtlich ihres Frost-Tausalzstandes für die Expositionsklasse XF2 ist auf Basis dieser Prüfergebnisse nicht möglich.

► Kann die Eignung von Beton für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren angemessen beurteilt werden?

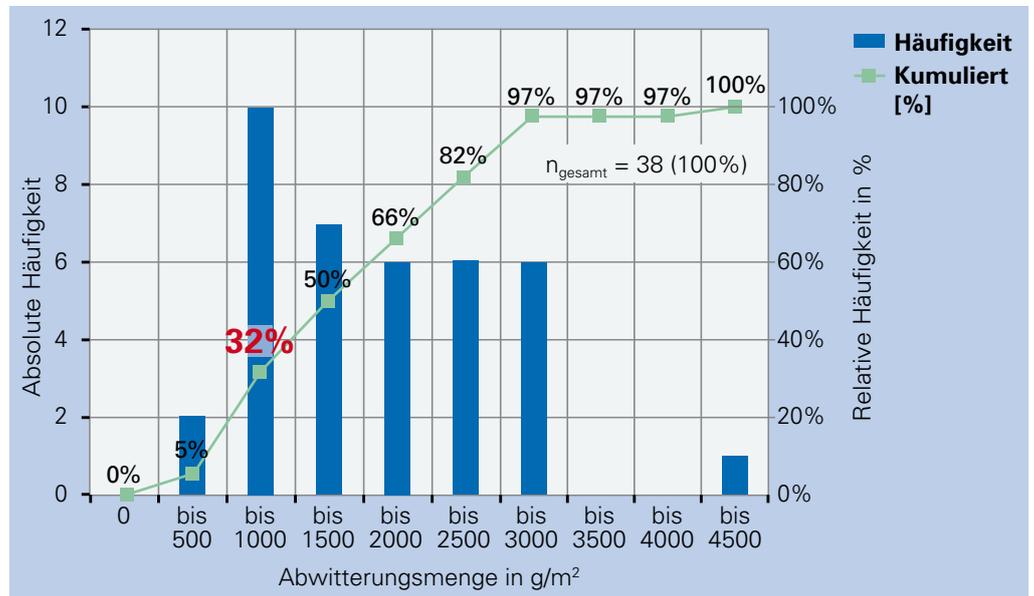
ZUSAMMENFASSENDE ERGEBNISLAGE

Von den insgesamt in den FIZ-internen Untersuchungen ($n = 10$) und den Vergleichsuntersuchungen ($n = 28$) mit dem modifizierten CDF-Verfahren XF2 untersuchten 38 Probekörperserien der insgesamt 14 XF2-Betone, hätten lediglich 32 % der Laborergebnisse zur Beurteilung „bestanden“ ausgereicht (siehe Bild 6). In zwei Drittel der untersuchten Fälle hätte man mit diesem Verfahren die Betone als nicht ausreichend widerstandsfähig für die Expositionsklasse XF2 beurteilt, obwohl sie es gemäß den Vorgaben der DIN 1045-2 sind. Hinzu kommt die z. T. hohe Streuung der Ergebnisse und der damit verbundene Einfluss des Prüflabors auf das Ergebnis.

ERGÄNZENDE HINWEISE ZUR PRÜFUNG VON FASERHALTIGEN BETONEN

Sowohl das CDF-Verfahren als auch das modifizierte CDF-Verfahren XF2 sehen die Prüfung an einer Oberfläche vor, die gegen eine Teflon-Schalung betoniert wurde. Diese und weitere Randbedingungen wie z. B. die Lagerung der Probekörper oder die Tatsache, dass in der Verfahrensentwicklung unbewehrte Probekörper verwendet wurden, sind zu beachten. Der Bewertungshintergrund und die Bewertungskriterien sind mit diesen Eckpunkten verknüpft.

Sollen Betone mit bearbeiteter Oberfläche oder z. B. mit Fasern geprüft und bewertet werden, müssen sich die am Projekt Beteiligten auf einen (neuen/anderen) Bewertungshintergrund



↑ Bild 6: Häufigkeitsverteilung der Abwitterungsmenge aller Prüfserien der untersuchten XF2-Betone (FIZ-interne Untersuchung + Vergleichsuntersuchung)

verständigen. Dieser sollte möglichst für alle Beteiligten gleichermaßen nachvollziehbar auch an Praxiserfahrungen anknüpfen.

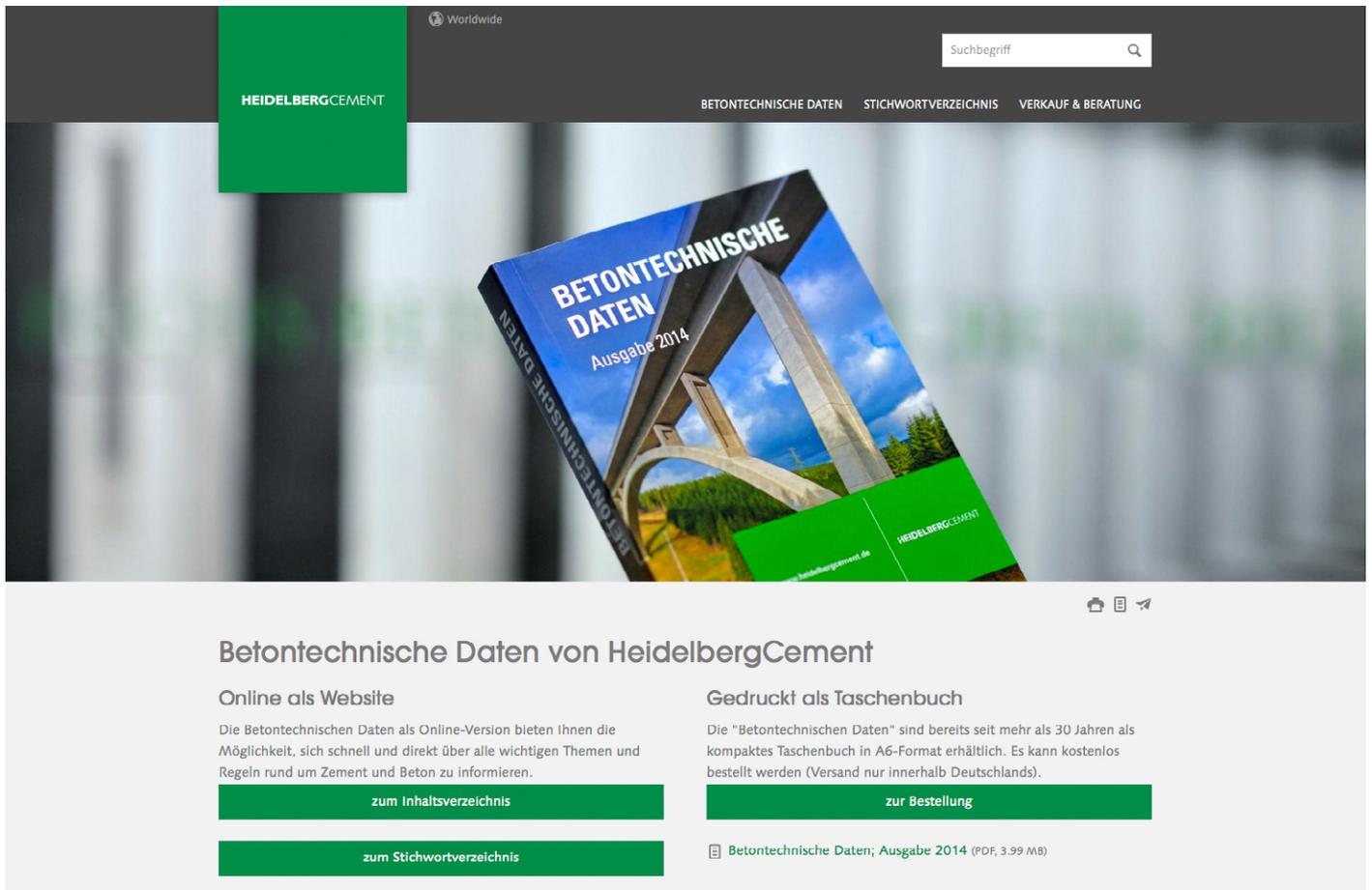
Diese Hinweise haben einen aktuellen Bezug, da bei einigen derzeit laufenden Tunnelbauprojekten für Innenschalenbetone mit PP-Fasern der Nachweis des Frost-Tausalz widerstandes für die Expositionsklasse XF2 mit dem modifizierten CDF-Verfahren XF2 gefordert wurde. Dazu durchgeführte Versuche zeigen, dass zusätzlich zu den im Artikel beschriebenen Unsicherheiten der Prüfung auch die Fasern das Ergebnis beeinflussen können: Bei allen geprüften Betonen lagen die nach DIN EN TS 12390-9 (Ultraschallbad) bestimmten Abwitterungen zunächst sehr niedrig ($< 100 \text{ g/m}^2$), die Oberflächen der Probekörper sahen jedoch rissig aus. Wurden diese Oberflächen abgebürstet, veränderte sich die Abwitterungsmenge um ein Vielfaches, z. B. bei einem Probekörper von 50 g/m^2 auf 1310 g/m^2 . Das heißt, die abgewitterten Betonbestandteile wurden von den Fasern soweit „festgehalten“, dass

diese bei Bestimmung der Abwitterungsmenge im Ultraschallbad am Probekörper haften blieben und daher nicht gravimetrisch erfasst werden konnten.

FAZIT:

Sowohl das über dem vorgeschlagenen Grenzwert liegende Abwitterungsniveau, als auch die hohe Streuung der Prüfergebnisse lassen das modifizierte CDF-Verfahren XF2 als noch nicht ausreichend robust für die Praxisverwendung erscheinen, da auf Basis der hier beschriebenen Versuchsergebnisse eine praxisergebnisgerechte Beurteilung von Betonen, die nach den gültigen deskriptiven Regeln für die Expositionsklasse XF2 zusammengesetzt sind, nicht möglich war. Eine Weiterentwicklung des Verfahrens erscheint erforderlich, sollte der Wunsch nach einem Prüfverfahren für XF2 weiter bestehen.

Die in den beiden Versuchsreihen gewonnenen Erfahrungen wurden der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zur Kenntnis gebracht.



The screenshot shows the HeidelbergCement website interface. At the top, there is a search bar with the placeholder text 'Suchbegriff' and a magnifying glass icon. Below the search bar, the navigation menu includes 'BETONTECHNISCHE DATEN', 'STICHWORTVERZEICHNIS', and 'VERKAUF & BERATUNG'. The main content area features a large image of the 'Betontechnische Daten' brochure cover, which is titled 'Ausgabe 2014' and shows a modern concrete structure. Below the image, there are two columns of text. The left column is titled 'Online als Website' and describes the online version of the data, with buttons for 'zum Inhaltsverzeichnis' and 'zum Stichwortverzeichnis'. The right column is titled 'Gedruckt als Taschenbuch' and describes the printed version, with a button for 'zur Bestellung'. At the bottom right of the right column, there is a link to download the PDF: 'Betontechnische Daten; Ausgabe 2014 (PDF, 3,99 MB)'.

Die aktuellen Betontechnischen Daten von HeidelbergCement jetzt auch online

Für Planer, Architekten und Verarbeiter sind die Betontechnischen Daten seit mehr als 40 Jahren ein wichtiger Leitfaden für die im Betonbau gültigen Normen und Regelungen sowie beton-technologische Grundlagen. Die überarbeiteten betontechnischen Daten online enthalten wie auch die aktuelle Printausgabe den Regelungsstand bis Ende 2013 und wurden im Layout an den neuen Webauftritt von HeidelbergCement angepasst.

Sie finden den aktualisierten Webauftritt wie bisher auch unter www.betontechnische-daten.de.

Die Online-Version der Betontechnischen Daten bietet die Möglichkeit, sich – nicht nur unterwegs – schnell und direkt über alle wichtigen Themen und Regeln rund um Zement und Beton zu informieren. Mit Hilfe des alphabetischen Stichwortverzeichnisses werden per Mausklick alle offenen Fragen schnell beantwortet.

Zusätzlich steht das komplette Heft als pdf auch zum Download bereit. Die Print-Broschüre ist weiterhin kostenlos in den regionalen Verkaufsbüros erhältlich und kann bestellt werden unter: <http://www.heidelbergcement.com/de/de/country/zement/publikationen/BTD.htm>



Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton



Dagmar Küchlin,
Leiterin
Bauberatung Süd
Entwicklung und
Anwendung

Im Brief 01/2015 der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) vom 22.4.2015 werden zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton Ad hoc-Maßnahmen für zukünftige und laufende Baumaßnahmen festgelegt. Des Weiteren wird festgelegt, welche

bereits ausgeführten Bauwerke hinsichtlich möglicher Schäden untersucht werden sollen.

Die im BAW-Brief genannten Maßnahmen wurden mit dem Erlass WS 12/2557.6/4 des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) vom 4.5.2015 als vorsorgliche Maßnahme zur Risikominimierung eingeführt. Sie gelten für Betonbauwerke nach ZTV-W, LB 215 sowie Vorsatzschalen nach ZTV-W, LB 219, Abschnitt 3.

Hintergrund dieses Briefes sind erhebliche Mängel in den Schleusenkammerwänden einer Schleusenneubaumaßnahme der Wasser- und Schifffahrts-

verwaltung des Bundes (WSV). Nach derzeitigem Kenntnisstand wird als mögliche Ursache eine unzureichende Mischungsstabilität des Betons angenommen, die tatsächliche Ursachenfindung ist noch nicht abgeschlossen.

Die nun eingeführten Ad-hoc-Maßnahmen betreffen die Herstellung, die Lieferung und den Einbau von Beton. Des Weiteren werden zusätzliche Prüfungen am Frisch- und Festbeton erforderlich. Im Einführungserlass wird darauf hingewiesen, dass diese Maßnahmen mit fortschreitendem Kenntnisstand überprüft und gegebenenfalls geändert bzw. ergänzt werden.

► Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton

ALLGEMEINE ÜBERLEGUNGEN ZUM THEMA „MISCHUNGSSTABILITÄT“ VON XF3-BETONEN MIT ANFORDERUNGEN AN DEN MINDESTLUFTGEHALT

Nach ZTV-W müssen in der Expositions-kategorie XF3 Luftporenbetone mit Anforderungen an den Mindestluftgehalt eingebaut werden. Für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung $\geq 0,80$ m) wird die Druckfestigkeit nach 28 Tagen auf ≤ 46 N/mm² begrenzt sowie die Hydratationswärme mit einer Erwärmung von ≤ 36 K auf eine maximale Bauteiltemperatur von 61 °C beschränkt. Betone mit diesen Begrenzungen werden in der Regel mit LH-Zementen und/oder Zement-Flugaschekombinationen mit niedrigen Zementgehalten hergestellt, bei denen ein ausreichender Mehlkorngehalt über die Flugaschemenge eingestellt wird. Bei XF3-Betonen mit Anforderungen an den Mindestluftgehalt scheut mancher Betonhersteller den Einsatz von Flugasche, um Wechselwirkungen zwischen Flugasche und LP-Bildner, sprich: schwankende Luft-Gehalte, zu vermeiden. Diese XF3-Betone weisen daher einen eher niedrigen Mehlkorn- und Leimgehalt auf.

Mit hochwirksamen PCE-Fließmitteln können auch leimarme Betone in weicher Konsistenz eingebaut werden, mit dem zusätzlichen Vorteil, dass eine Baustellendosierung, wie sie bei klassischen Fließmitteln erforderlich ist, vermieden wird.

Betone mit LP-Bildner sehen im Vergleich zur gleichen Betonzusammensetzung ohne LP-Bildner aufgrund der eingeführten feinen Luftporen besser zusammenhaltend aus, bis hin zu einem „sahnigen“ Eindruck. In Verbindung mit PCE-Fließmitteln kann dieser Eindruck noch ausgeprägter sein, einmal über die meist leicht „stabilisierende“ Wirkung

von PCE-Fließmitteln, zum ändern, weil je nach Entschäumung bereits mit niedrigen LP-Bildnerdosierungen hohe LP-Gehalte erzielt werden, die den augenscheinlichen „Sahneeffekt“ verstärken können. Dies kann bei leim- und mehlkornarmen Mischungen eine Mischungsstabilität suggerieren, die jedoch, sobald der Beton z. B. über den Eintrag von Rüttelenergie bewegt wird, nicht sicher gegeben ist.

Genormte Prüfverfahren, mit denen die Sedimentationsstabilität von Beton geprüft werden kann, gibt es derzeit nur für SVB.

Im BAW-Brief 1/2015 wird nun explizit darauf hingewiesen, dass ein ausreichender Mehlkorn- und Leimgehalt erforderlich ist, um weiche Betone mit ausreichender Mischungsstabilität herzustellen. Ebenso wird die Verwendung von PCE-Fließmitteln insbesondere in Kombination mit LP-Bildnern kritisch und als eine mögliche Ursache für eine unzureichende Mischungsstabilität gesehen, die wiederum als eine mögliche Ursache für den dem Schreiben zugrundeliegenden Schaden vermutet wird.

Auch weitere Punkte, die die Mischungsstabilität von Beton beeinflussen, wie z. B. die Mischzeiten, werden genannt.

AD-HOC-MASSNAHMEN GEMÄSS BAW-SCHREIBEN 1/2015 UND ERLASS WS 12/2557.6/4

Da es in der ZTV-W bisher keine Vorgabe gab, die Mischungsstabilität im Rahmen einer Prüfung nachzuweisen, werden mit dem Erlass WS 12/2557.6/4 entsprechende Prüfungsvorgaben zusammen mit Maßnahmen bei Herstellung, Transport und Einbau eingeführt. Damit soll sichergestellt werden, dass nur ausreichend stabile Betone eingebaut werden.

Maßnahmen bei der Betonherstellung

Für die Verwendung von Betonverflüssigern (BV) sowie Fließmitteln (FM) gilt:

- Bei Beton mit LP-Bildner dürfen nur BV bzw. FM auf Basis von Lignin-, Melamin- oder Naphthalinsulfonat (klassische BV / FM) eingesetzt werden.
Ausnahme: sofern bei Beton mit w/z-Wert $< 0,45$ die Einstellung der erforderlichen Konsistenz nachweislich nicht mit klassischen BV / FM möglich ist, sind mit dem Auftraggeber projektspezifische Festlegungen abzustimmen.
- Bei massigen Bauteilen (kleinste Bauteilabmessung $\geq 0,80$ m) dürfen PCE-haltige BV bzw. FM nur eingesetzt werden, wenn eine erweiterte Eignungsprüfung (s. Tabelle 1) vorliegt.

Bei der Betonherstellung sind folgende Vorgaben zu beachten:

- Nassmischzeit bei Beton ohne LP-Bildner: nach Zugabe aller Ausgangsstoffe mindestens 60 Sekunden
- Betone mit LP-Bildner: Nach Zugabe aller Ausgangsstoffe inklusive des LP-Bildners jedoch ohne BV bzw. FM mindestens 60 Sekunden nass mischen. Anschließend Zugabe von BV / FM und mindestens weitere 60 Sekunden mischen.
- Je nach Art des Mischwerks können längere Mischzeiten erforderlich sein.
- Die Mischzeiten der einzelnen Chargen sind automatisch auf dem Lieferschein zu dokumentieren.

Maßnahmen beim Transport des Betons

Der Transport zur Baustelle im Fahr-mischer inklusive der Wartezeit auf der Baustelle muss mit langsam drehender Trommel erfolgen. Unmittelbar vor der Entladung muss der Beton mindestens 2 Minuten aufgemischt werden.

► Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton

Maßnahmen beim Betoneinbau

- Die Regelungen des DBV-Merkblatts „Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“ sind zu beachten.
- Je nach Bausituation sind geeignete Maßnahmen vorzusehen, um den Einbau- und Verdichtungsvorgang beobachten zu können, z. B. verschließbare Schalungsöffnungen oder Beleuchtungseinrichtungen.
- Prüfung der Sedimentationsstabilität des Frischbetons (Beschreibung im Abschnitt „zusätzliche Prüfungen ...“) mit dem Auswaschversuch in Anlehnung an die SVB-Richtlinie des DAfStb (2003) beim 1., 5. sowie jedem weiteren 20. Fahrzeug und in Zweifelsfällen.
- Entnahme von Vertikalbohrkernen ($d \geq 120 \text{ mm}$, $l \geq 1000 \text{ mm}$) in vom Auftraggeber festgelegter Anzahl (mindestens 1 Bohrkern je Betonsorte) und Entnahmestellen zur visuellen Beurteilung der Gleichmäßigkeit des Betongefüges.
Das Vorgehen erfolgt analog zur Beschreibung des Vorgehens für die Bohrkernentnahme und Beurteilung am 2m-Block (s. nachfolgendes Kapitel).

ZUSÄTZLICHE PRÜFUNGEN NACH BAW-SCHREIBEN 1/2015 UND ERLASS WS 12/2557.6/4

Die zusätzlich zu den Prüfungen nach ZTV-W LB 215 durchzuführenden Prüfungen sind im Rahmen der erweiterten Eignungsprüfung sowie teilweise zusätzlich auf der Baustelle durchzuführen. Eine Übersicht gibt Tabelle 1.

Welche Betone?	Prüfungen im Rahmen der erweiterten Eignungsprüfung	Prüfungen auf der Baustelle
Alle Betone	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch ■ Massige Bauteile: Entnahme von 2 Vertikal- und 3 Horizontalbohrkernen aus dem „2m-Betonblock“ zur Beurteilung der Sedimentationsstabilität am Festbeton 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch beim 1., 5. und jedem folgenden 20. Fahrzeug ■ Sedimentationsstabilität am Festbeton (Vertikalbohrkerne)
PCE-haltige Betone für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung $\geq 0,80 \text{ m}$)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sättigungspunkt am Beton bei 20 sowie ggf. 10 °C ■ Falls beim Betonieren Temperaturen von $\leq 15 \text{ °C}$ erwartet werden: Konsistenzverlauf über 90 Minuten bei einer Frischbetontemperatur von 10 °C ■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch ■ Massige Bauteile: Entnahme von 2 Vertikal- und 3 Horizontalbohrkernen aus dem „2m-Betonblock“ zur Beurteilung der Sedimentationsstabilität am Festbeton 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch beim 1., 5. und jedem folgenden 20. Fahrzeug ■ Sedimentationsstabilität am Festbeton (Vertikalbohrkerne)

↑ Tabelle 1: Übersicht über die zusätzlichen Prüfungen nach BAW-Schreiben 1/2015 und Erlass WS 12/2557.6/4

Bestimmung des Sättigungspunktes von BV / FM bei massigen Betonen mit PCE-haltigen bzw. nicht nachweislich klassischen Produkten

Der Sättigungspunkt des verwendeten BV / FM bzw. der verwendeten BV / FM-Kombination muss nur bei Verwendung PCE-haltiger bzw. nicht nachweislich klassischer BV / FM geprüft werden.

Der Sättigungspunkt ist die Dosiermenge, ab deren Überschreitung keine weitere Verflüssigung mehr eintritt. Die Prüfung erfolgt mit der vorgesehenen Betonzusammensetzung bei einer Frischbetontemperatur von 20 °C sowie, sofern während der Bauausführung Frischbetontemperaturen $\leq 15 \text{ °C}$ auftreten, zusätzlich bei einer Frischbetontemperatur von 10 °C. Dabei wird – jeweils

über einen neuen Beton – die Dosiermenge der Zusatzmittel schrittweise so lange erhöht bis keine Zunahme des Ausbreitmaßes mehr erfolgt. Die in der Prüfung ermittelte Sättigungsdosierung darf während der gesamten Lieferzeit der Sorte nicht überschritten werden.

Konsistenzverlauf bei 10 °C

Treten während der Bauausführung Frischbetontemperaturen $\leq 15 \text{ °C}$ auf, muss der Konsistenzverlauf über mindestens 90 Minuten bei einer Frischbetontemperatur von 10 °C geprüft werden. Die vorgegebenen Prüfzeitpunkte des Ausbreitmaßes liegen bei 10, 30, 45, 60 und 90 Minuten nach Wasserzugabe. Eine Nachverflüssigung darf bezogen auf das Ausbreitmaß nach 10 Minuten maximal 30 mm betragen.



► Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton

Prüfung der Sedimentationsstabilität des Frischbetons über den Auswaschversuch

Die Prüfung erfolgt in Anlehnung an den in der DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“, Ausgabe November 2003 beschriebenen Auswaschversuch.

Für den Versuch wird ein in 3 gleiche Segmente unterteilter Zylinder mit $d = 150 \text{ mm}$ und $h = 450 \text{ bis } 500 \text{ mm}$ verwendet (s. Bild 1). Das Material der Zylinderform ist nicht vorgegeben. Der Zylinder wird bis zu einer Höhe von 450 mm unter 45° Neigung gefüllt. Gemäß BAW-Brief 1/2015 wird der Beton einlagig eingefüllt und – da es sich nicht um SVB handelt – auf dem Rütteltisch 60 Sekunden verdichtet. Anschließend wird der Beton bis zum Erstarrungsbeginn erschütterungsfrei gelagert. Mit Hilfe eines Trennschiebers werden die Zylindersegmente abgescho-ben und die Masse der Teilproben $m_{\text{Beton},i} [\text{g}]$ bestimmt. Der Grobkornanteil in jedem Segment wird dann über Auswaschen und Absieben entweder auf dem 8 mm -Sieb oder bei $D_{\text{max}} = 32 \text{ mm}$ auf dem $11,2 \text{ mm}$ -Sieb bestimmt. Der Siebrückstand wird an der Luft getrocknet (oberflächentrocken) und gewogen.

Die Prüfung ist bestanden wenn die Verringerung des Grobkornanteils ($> 8 \text{ mm}$) im oberen Drittel des Zylinders bezogen auf den mittleren Grobkornanteil in der Gesamtprobe maximal 20 M.-% beträgt.

Prüfung der Mischungsstabilität am Festbeton mittels Bohrkernen aus dem „2m-Betonblock“

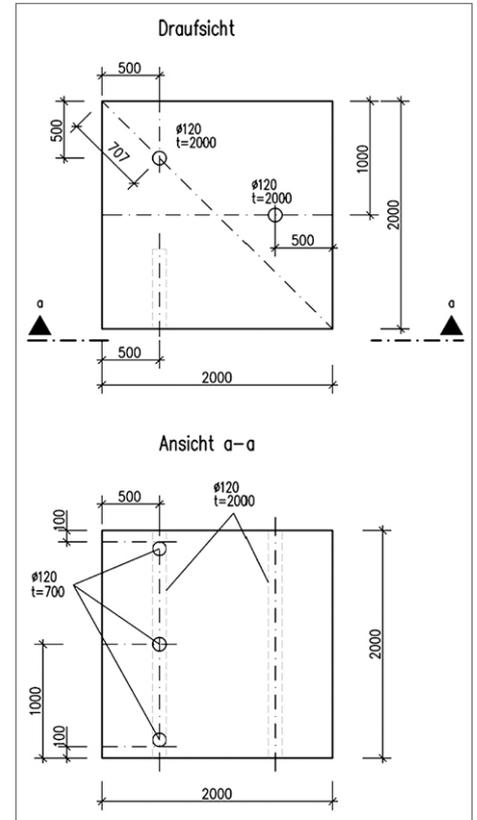
Nach ZTV-W muss bei Betonen für massige Bauteile im Rahmen der Eignungsprüfung die Hydratationswärmeentwicklung an einem Betonblock mit den Abmessungen $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ bestimmt werden. Für diese muss jetzt auch die Mischungsstabilität am Festbeton über



↑ Bild 1: Zylinderform für den Auswaschversuch nach SVB-Richtlinie des DAfStB, Ausgabe November 2003

die Entnahme von zwei Vertikal- sowie drei Horizontalbohrkernen geprüft werden. Die Entnahme erfolgt nach dem im BAW-Schreiben festgelegten Schema (s. Bild 2). Der Bohrkerndurchmesser muss mindestens 120 mm betragen. Die Länge der Vertikalbohrkerne geht über die gesamte Höhe des Betonblocks, die Länge der Horizontalbohrkerne muss $\geq 700 \text{ mm}$ sein. Die Bohrkerne werden mittig in Achsrichtung aufgeschnitten und die Gleichmäßigkeit des Gefüges visuell beurteilt. Das Gefüge muss weitgehend gleichmäßig sein.

In Zweifelsfällen ist eine quantitative Bestimmung des Anteils der groben Gesteinskörnung über den Flächenanteil der groben Gesteinskörnung $> 8 \text{ mm}$ vorgesehen. Dafür wird der Bohrkern in 3 gleiche Teilflächen unterteilt und der Flächenanteil der groben Gesteinskörnung $> 8 \text{ mm}$ in jedem Segment ermittelt. Die Veränderung des Grobkornanteils in jedem einzelnen Segment darf, bezogen auf den Mittelwert aus den 3 Segmenten, maximal 20 % betragen.



↑ Bild 2: Bohrkerntnahmestellen für die Prüfung der Gleichmäßigkeit des Betongefüges am 2m-Block

► **Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton**

AD-HOC-MASSNAHMEN BEI LAUFENDEN BAUMASSNAHMEN

Auch bei laufenden Baumaßnahmen kann ein Teil der jetzt eingeführten Maßnahmen noch gefordert werden, sofern eine Notwendigkeit seitens des Auftraggebers festgestellt wird.

Dies betrifft die Punkte:

- Mindestmischzeiten von Betonen mit und ohne LP-Bildner und automatischer Lieferscheinaufdruck
- Prüfung der Sedimentationsstabilität am Frischbeton mit dem Auswaschversuch
- Transport und Wartezeiten mit langsam drehender Mischtrommel und einer Aufmischzeit vor Entladung von mindestens 2 Minuten
- Beachten des DBV-Merkblattes „Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“
- Ergreifen geeigneter Maßnahmen, um Einbau- und Verdichtungsvorgang beobachten zu können
- Prüfung der Mischungsstabilität am Frisch- und Festbeton, d.h. Auswaschversuch und Bohrkernentnahme auf der Baustelle

Im Erlass wird empfohlen, von den genannten Maßnahmen mindestens die Bohrkernentnahme zur visuellen Beurteilung des Festbetongefüges als Kontrollprüfung umzusetzen.

UNTERSUCHUNG BEREITS AUSGEFÜHRTER BAUWERKE ETWA AB DEM JAHR 2000

Bauwerke, in denen PCE-haltige Betone insbesondere mit LP-Bildner eingesetzt wurden, sollen auf mögliche Schäden durch Entmischung untersucht werden.

BEMERKUNGEN ZU DEN NEUEN PRÜFUNGEN FÜR ZTV-W-BETONE

Die Prüfung des Sedimentationsverhaltens mit dem Auswaschversuch auf der Baustelle erscheint aus praktischer Sicht schwer durchführbar, da die Prüfung laut Prüfanweisung bis zum Erstarrungsbeginn dauert, gleichzeitig aber der Beton spätestens innerhalb von 90 Minuten nach Wasserzugabe entladen sein muss. Die Prüfanweisung sollte daher aus unserer Sicht überprüft werden.

Ein zweiter Punkt betrifft den Grenzwert für den Auswaschversuch von 20 %. HC-interne Tastversuche haben gezeigt, dass ein Beton, der den Grenzwert leicht überschritt, in der visuellen Beurteilung am Festbetonzylinder (l = 300 mm) sowie an größerformatigen Probekörpern (l = 600 mm) ein stabiles Gefüge ohne Sedimentation des Grobkorns aufwies. Umgekehrt gab es auch einen Beton bei dem der Grenzwert eingehalten war, der sich aber im Festbeton schon leicht sedimentiert zeigte. Daher könnte es sinnvoll sein, wie in der SVB-Richtlinie (2003) vorzugehen und bei der Eignungsprüfung zusätzlich zum Auswaschversuch eine visuelle Beurteilung am Festbeton vorzunehmen.