

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Massige Bauteile aus Beton

Ausgabe April 2010

Teil 1: Ergänzungen zu DIN 1045-1

Teil 2: Änderungen und Ergänzungen zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2

Teil 3: Änderungen und Ergänzungen zu DIN 1045-3

Ersatz für Ausgabe März 2005; bisherige Vertriebs-Nr. 65038

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften (Abl. EG Nr. L204 S. 378), zuletzt geändert durch die Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998 (Abl. EG Nr. L217 S. 18) sind beachtet worden.

Bezüglich der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unterlagen und technischen Anforderungen, die sich auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch Produkte bzw. Prüfverfahren angewandt werden dürfen, die Normen oder sonstigen Bestimmungen und/oder technischen Vorschriften anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, entsprechen, sofern das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAfStb
Budapester Straße 31
D-10787 Berlin
Telefon: 030 2693-1320
info@dafstb.de

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Massige Bauteile aus Beton

Ausgabe April 2010

Teil 1: Ergänzungen zu DIN 1045-1

Teil 2: Änderungen und Ergänzungen zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2

Teil 3: Änderungen und Ergänzungen zu DIN 1045-3

Ersatz für Ausgabe März 2005; bisherige Vertriebs-Nr. 65038

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften (Abl. EG Nr. L204 S. 378), zuletzt geändert durch die Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998 (Abl. EG Nr. L217 S. 18) sind beachtet worden.

Bezüglich der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unterlagen und technischen Anforderungen, die sich auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch Produkte bzw. Prüfverfahren angewandt werden dürfen, die Normen oder sonstigen Bestimmungen und/oder technischen Vorschriften anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, entsprechen, sofern das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAfStb
Budapester Straße 31
D-10787 Berlin
Telefon: 030 2693-1320
info@dafstb.de

Vorwort zu dieser Richtlinie

Die Richtlinie "Massige Bauteile aus Beton" ändert und ergänzt die aufgeführten Abschnitte aus DIN 1045-1, DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und DIN 1045-3 für massige Bauteile aus Beton und fügt teilweise neue Absätze hinzu. Zu DIN 1045-4 sind keine ergänzenden Regeln erforderlich.

Mit der Einhaltung der nachfolgenden Regelungen, die zum großen Teil auf langjährigen Erfahrungen beruhen, wird sichergestellt, dass für massige Bauteile die Tragfähigkeits-, Gebrauchstauglichkeits- und Dauerhaftigkeitsanforderungen nach DIN 1045 und DIN EN 206-1 erfüllt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die der Tragwerkplanung zugrunde liegenden Annahmen zur konstruktiven Durchbildung, zur Stoffauswahl und zur Bauausführung eingehalten werden. Abweichungen sind mit allen Beteiligten abzustimmen und durchgängig zu berücksichtigen.

Anwendungsbereich der Richtlinie

Diese Richtlinie gilt für massige Bauteile aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton nach DIN 1045-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN EN 206-1, bei denen aufgrund großer Abmessungen eine erhöhte Bauteilerwärmung infolge Hydratation auftreten kann. Die Regelungen der vorliegenden Richtlinie gelten für Bauteile, deren kleinste Bauteilabmessung mindestens 0,80 m beträgt und bei denen Zwang und Eigenspannungen in besonderer Weise zu berücksichtigen sind.

Teil 1 – Ergänzungen zu DIN 1045-1

6 Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

6.2 Expositionsklassen, Mindestbetonfestigkeit

Absatz (2), Verweis auf Tabellen F.2.1 und F.2.2 in DIN 1045-2 wird ersetzt

Tabellen F.2.1 und F.2.2 dieser Richtlinie.

Absatz (3), erster Satz wird ersetzt

Jeder Expositionsklasse ist nach Tabellen F.2.1 und F.2.2 dieser Richtlinie eine Mindestbetonfestigkeitsklasse für Normalbeton zugeordnet.

Teil 2 – Änderungen und Ergänzungen zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2**4 Klasseneinteilung****4.3 Festbeton****4.3.1 Druckfestigkeitsklasse**

DIN EN 206-1, 2. Satz wird ersetzt

Für die Klassifizierung darf die charakteristische Festigkeit von Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge ($f_{ck,cyl}$) bzw. die charakteristische Festigkeit von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge ($f_{ck,cube}$) nach 28 oder nach 56 oder nach 91 Tagen verwendet werden.

6 Festlegung des Betons**6.2 Festlegung für Beton nach Eigenschaften****6.2.3 Zusätzliche Anforderungen**

DIN EN 206-1, 2. Absatz wird ergänzt

Die Festlegung sollte zusätzliche Anforderungen an die Höchsttemperatur des Frischbetons und die zulässige Wärmeentwicklung während der Hydratation mit entsprechenden Nachweisverfahren enthalten.

7 Lieferung von Frischbeton**7.2 Informationen vom Betonhersteller für den Verwender**

DIN EN 206-1, 3. Absatz wird ergänzt

Bei mehr als 5 h Verarbeitbarkeitszeit ist das Nachweisalter für die Druckfestigkeit im Alter von 2 Tagen ($f_{cm,2}$) um die Verzögerungszeit zu verlängern.

7.3 Lieferschein für Transportbeton

DIN EN 206-1, 1. Absatz, 14. Spiegelstrich wird hinzugefügt

– Kennzeichnung als Beton nach dieser Richtlinie.

8 Konformitätskontrolle und Konformitätskriterien**8.2 Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften****8.2.1 Konformitätskontrolle für die Druckfestigkeit****8.2.1.1 Allgemeines**

DIN EN 206-1, 8. Absatz wird ergänzt

Dabei gelten die Festigkeitsklassen nach Abschnitt 4.3.1.

8.2.1.2 Probenahme- und Prüfplan

DIN EN 206-1, Tabelle 13,
2. Zeile (stetige Herstellung)
wird ergänzt

Bei einer täglichen Produktion von je angefangenen 600 m³:
1 je 600 m³

9 Produktionskontrolle

9.1 Allgemeines

DIN EN 206-1, 4. Absatz wird
hinzugefügt

Bei Anwendung dieser Richtlinie ist ein Qualitätssicherungsplan zu erstellen.

DAfStb-Richtlinie Massige Bauteile aus Beton – Teil 2

Anhang F (DIN 1045-2)

Die Tabellen F.2.1 und F.2.2 werden ersetzt.

Anmerkung: Abweichungen gegenüber DIN 1045-2:2008-08 sind grau hinterlegt.

Tabelle F.2.1 – Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton – Teil 1

Nr.	Expositionsklassen	Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko X0 ^a	Bewehrungskorrosion									
			durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride verursachte Korrosion					
			XC1	XC2	XC3	XC4	Chloride außer aus Meerwasser			Chloride aus Meerwasser		
				XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3			
1	Höchstzulässiger w/z	-	0,75	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,50 ^a			
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse ^b	C8/10	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37 ^d	C30/37 ^d	C35/45 ^d	C30/37 ^d			
3	Mindestzementgehalt ^c in kg/m ³	-	240	260	280	300	300	300		Siehe XD1	Siehe XD2	Siehe XD3
4	Mindestzementgehalt ^c bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	-	240	240	270	270	270	270				
5	Mindestluftgehalt in %	-	-	-	-	-	-	-				
6	Andere Anforderungen	-										

^a Nur für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall.
^b Gilt nicht für Leichtbeton.
^c Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.
^d Bei Verwendung von Luftporenbeton, z. B. aufgrund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger.

~~Bei Verwendung von CEM II/B-V, CEM III/A oder CEM III/B ohne oder mit Flugasche als Betonzusatzstoff oder bei anderen Zementen der Tabellen F.3.1 oder F.3.2 nach DIN 1045-2 in Kombination mit Flugasche als Betonzusatzstoff, wobei der Mindestflugaschegehalt 20 % (Massenanteil) von (z) betragen muss.~~

DAfStb-Richtlinie Massige Bauteile aus Beton – Teil 2

Tabelle F.2.2 – Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton – Teil 2

Nr.	Expositions-klassen	Betonkorrosion												
		Frostangriff						Aggressive chemische Umgebung			Verschleißbeanspruchung ^h			
		XF1	XF2		XF3		XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2		XM3
1	Höchstzulässiger w/z	0,60	0,55 ^a	0,50 ^a	0,55	0,50	0,50 ^a	0,60	0,50	0,45	0,55	0,55	0,45	0,45
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse ^b	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C25/30	C30/37 ^d	C35/45 ^d	C30/37 ^d	C30/37 ^d	C35/45 ^d	C35/45 ^d
3	Mindestzementgehalt ^c in kg/m ³	280	300	300	300	300	300	280	300	320	300 ⁱ	300 ⁱ	320 ⁱ	320 ⁱ
4	Mindestzementgehalt ^c bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	270	270 ^a	270 ^a	270	270	270 ^a	240	270	270	270	270	270	270
5	Mindestluftgehalt in %	-	f	-	f	-	f,j	-	-	-	-	-	-	-
6	Andere Anforderungen	Gesteinskörnungen für die Expositions-klassen XF1 bis XF4						-	-	i	-	Oberflächenbehandlung des Betons ^k	-	Einstreuen von Hartstoffen nach DIN 1100
		F ₄	MS ₂₅		F ₂		MS ₁₈							

^b, ^c, ^d und ^e siehe Fußnoten in Tabelle F.2.1.

^f Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm \geq 5,5 % (Volumenanteil), 16 mm \geq 4,5 % (Volumenanteil), 32 mm \geq 4,0 % (Volumenanteil) und 63 mm \geq 3,5 % (Volumenanteil) betragen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 % (Volumenanteil) unterschreiten.

^g Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den Wasserzementwert ist nur bei Verwendung von Flugasche zulässig. Weitere Zusatzstoffe des Typs II dürfen zugesetzt, aber nicht auf den Zementgehalt oder den w/z angerechnet werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Flugasche und Silikastaub ist eine Anrechnung auch für die Flugasche ausgeschlossen.

^h Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 verwendet werden.

ⁱ Höchstzementgehalt 360 kg/m³, jedoch nicht bei hochfesten Betonen.

^j Erdfeuchter Beton mit w/z \leq 0,40 darf ohne Luftporen hergestellt werden.

^k Z. B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.

^l Schutzmaßnahmen siehe 5.3.2.

Teil 3 – Änderungen und Ergänzungen zu DIN 1045-3

4 Dokumentation, Bauleitung

4.1 Projektbeschreibung

Absatz (1), erster Spiegelstrich wird ersetzt

- Bei Anwendung dieser Richtlinie ist ein Qualitätssicherungsplan zu erstellen.

4.2 Bautechnische Unterlagen

4.2.1 Umfang der bautechnischen Unterlagen

Neuer Absatz

(3) Rechtzeitig vor dem Betoniertermin ist ein Betonierkonzept aufzustellen und mit allen Beteiligten abzustimmen. Dabei sind die Schnittstellen zwischen den Beteiligten, insbesondere dem Hersteller und dem Verwender des Betons, eindeutig zu regeln.

8 Betonieren

8.3 Temperatur des Betons

Absatz (4) wird ersetzt

(4) Während der ersten Tage der Hydratation darf der Beton erst dann durchfrieren, wenn in allen Bauteilbereichen eine Druckfestigkeit f_{cm} von mindestens 5 N/mm^2 erreicht worden ist.

Neuer Absatz

(5) Bei massigen Bauteilen ist ein möglichst langsamer Temperaturanstieg infolge Hydratationswärme anzustreben. Die Höchsttemperatur und der Temperaturunterschied zwischen Kern- und Randzone im Bauteil sind gering zu halten.

Anhang A (normativ) – Prüfungen für die maßgebenden Frisch- und Festbetoneigenschaften

A.2 Prüfung der Druckfestigkeit für Beton nach Eigenschaften bei Verwendung von Transportbeton

Absatz (1) wird ergänzt

Bei Betonierleistungen über 200 m^3 je Betoniertag kann der Prüfumfang im Einvernehmen mit der zuständigen anerkannten Überwachungsstelle für Betone der Überwachungsklasse 2 abweichend auf eine Probe je 200 m^3 , mindestens jedoch 3 Proben je Beton und Betoniertag reduziert werden. Bei Beanstandungen, die im Rahmen der Überwachung von der anerkannten Überwachungsstelle festgestellt werden, ist für den weiteren Bauablauf der Prüfumfang nach DIN 1045-3 maßgebend.

1 Allgemeines

Massige Bauteile aus Beton unterliegen den gleichen Grundsätzen hinsichtlich Bemessung, Konstruktion, Betontechnik und Ausführung wie herkömmliche Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton nach DIN 1045 und DIN EN 206-1.

Auf Grund der Abmessungen ist bei massigen Bauteilen darüber hinaus besonderes Augenmerk auf Temperaturänderungen infolge Hydratationswärme zu richten, die häufig zur frühen Rissbildung und damit zu einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit führen können. Um auch unter diesen Randbedingungen die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit sicherzustellen, sind Abweichungen und Ergänzungen zu DIN 1045 erforderlich. Die entsprechenden Regelungen der Richtlinie beruhen auf langjährigen Erfahrungen und berücksichtigen eine Reihe von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, auf die in diesen Erläuterungen verwiesen wird.

Eine wirksame Begrenzung der Temperaturänderungen mit den damit verbundenen Zwang- und Eigenspannungen sowie der Minimierung der sich gegebenenfalls daraus ergebenden Rissbildung lässt sich maßgeblich erreichen durch:

- **Konstruktive Maßnahmen:** Rissbreitenbegrenzung durch Bewehrung, zwangarme Lagerung, zwangreduzierende Anordnung von Fugen, Vorspannung;
- **Betontechnische Maßnahmen:** Betonzusammensetzung, Zement, Betonzusätze, Gesteinskörnung, Frischbetontemperatur;
- **Maßnahmen bei der Bauausführung:** Arbeitsvorbereitung, Betonierplanung, Steuerung des Wärmeabflusses.

Alle aufgeführten Maßnahmen sind gleichermaßen sorgfältig und durchgängig zu planen und aufeinander abzustimmen. Dabei sind technische und wirtschaftliche Aspekte gleichermaßen zu berücksichtigen.

2 Schnittstellen zwischen Planung, Betonherstellung und Ausführung

2.1 Allgemeines

Das wirksame Ineinandergreifen aller von den jeweiligen Partnern getroffenen Entscheidungen und Maßnahmen ist für den Erfolg entscheidend. Einer engen und kontinuierlichen Abstimmung und Rückkopplung über alle Schnittstellen (Planung, Betonherstellung und Ausführung) hinweg kommt bei der Errichtung massiger Bauteile eine besondere Bedeutung zu.

Bereits in der Planungsphase sind projektspezifisch wirklichkeitsnahe Annahmen für die Betoneigenschaften und die Ausführung zu treffen, die Besonderheiten hinsichtlich des Bauablaufs, der Hydratationswärmeentwicklung sowie regionaler Gegebenheiten berücksichtigen. Beispielsweise kann die Festlegung auf langsam oder sehr langsam erhärtende Betone in der Planungsphase bei einer Bauausführung im Winter zu deutlichen Bauzeitverlängerungen führen, da Ausschal- oder Kletterfristen verlängert werden müssen. Des Weiteren besteht bei solchen Betonsorten ein erhöhtes Risiko von Frostschäden im jungen Betonalter, so dass eine Betonage bei starkem Frost nicht immer möglich ist. Auch Maßnahmen zur Begrenzung von Eigenspannungen infolge abfließender Hydratationswärme, wie beispielsweise das Abdecken der freien Oberflächen mit Wärmedämmmatten, können den Baufortschritt erheblich beeinflussen (s. a. Abschnitt 6.3). Teilweise können solche Behinderungen des Baufortschritts durch geeignete Maßnahmen (z. B. Einhausung des Bauteils, Beheizung) vermieden werden. Dazu ist in den meisten Fällen allerdings ein erheblicher Mehraufwand erforderlich. Derartige Maßnahmen sollten daher bereits in den Planungsvorgaben als eigenständige Positionen enthalten sein. Andernfalls ist die vorgesehene Bauzeit angemessen zu verlängern.

Bei der Planung ist zu berücksichtigen, dass der Nachweis der Druckfestigkeitsklasse in einem von 28 Tagen abweichenden Alter geführt werden kann (vgl. Teil 2 der Richtlinie, 4.3.1).

Bei der Festlegung des Betons sind Abstimmungen zwischen Betonherstellung und Ausführung, z. B. hinsichtlich Zeitpunkt der Betonierarbeiten (Sommer/Winter), Einbauweisen, Größe der Betonierabschnitte, Anzahl der gleichzeitig zu beliefernden Einbaustellen und den sich möglicherweise daraus ergebenden Verzögerungszeiten, zwingend zu berücksichtigen. Gerade bei massigen Bauteilen können für den fachgerechten Betoneinbau in mehreren Lagen sehr lange Verzögerungszeiten notwendig werden, die sich dann auch auf den Kennwert der Festigkeitsentwicklung und die sich daraus ableitende Nachbehandlungsdauer auswirken (vgl. Richtlinie Teil 2, Abschnitt 7.2).

Sind im Zuge der Baumaßnahme Abweichungen gegenüber der ursprünglichen Planung, der Betonfestlegung oder der vorgesehenen Ausführung notwendig, so ist auf Grund der engen und oftmals folgenreichen Verknüpfung der einzelnen Schritte im Gesamtkonzept eine erneute Rückkopplung mit allen Beteiligten (Planung, Betonherstellung, Ausführung) unabdingbar. Wird beispielsweise ein Zement eingesetzt, der zu einem höheren oder niedrigeren Temperaturanstieg während der Hydratation führt als in der Planungsphase vorgesehen, kann sich dies erheblich auf die Zwangsspannungen und die daraus resultierende Mindestbewehrung auswirken. Ebenso können sich Änderungen im Betonierablauf oder bei den Betonierabschnitten auf Verzögerungszeiten auswirken, die zwingend mit dem Betonhersteller abzustimmen sind.

2.2 Qualitätssicherungsplan

Aufgrund der Besonderheiten bei der Herstellung massiger Bauteile ist im Vorfeld ein Qualitätssicherungsplan (QS-Plan) aufzustellen (vgl. Richtlinie Teil 2, Abschnitt 9.1 und Teil 3, Abschnitt 4.1), in dem alle qualitätsrelevanten Maßnahmen sowie die Verantwortlichkeiten bei Betonherstellung und Ausführung geregelt und dokumentiert werden.

Umfang und Inhalt des Qualitätssicherungsplans richten sich im Wesentlichen nach Bauteilart (Anforderungen, Abmessungen, etc.) und Randbedingungen (Witterung, Lieferbedingungen, Platzverhältnisse, etc.) und können im Einzelfall sehr unterschiedlich sein. So sind z. B. Angaben zur Logistik nur bei großen Bauteilabmessungen mit entsprechend hoher Lieferleistung sinnvoll. Je nach Einzelfall können beispielsweise die nachfolgend aufgeführten Punkte relevant sein:

Bei der Betonherstellung und der Anlieferung:

- Koordinierung der Liefer- und Ersatzwerke;
- Disposition für die Ausgangsstoffe;
- Organisation und Prüfung der Silobelegung;
- Überwachungskonzept der Mischanlage (z. B. Anforderungen und Prüfungen der Ausgangsstoffe und der Betone);
- Betonabruf, Anlieferung des Betons;
- Disposition und Einweisung der Lieferfahrzeuge;
- FM-Dosierung auf der Baustelle;
- Dokumentation.

Bei der Ausführung:

- Freigabe einzelner Teilgewerke (Schalung, Bewehrung, Fugenabdichtung, etc.);
- Betonierkonzept (Betonarten, Betonierfolge, Förderung, Einbau);
- Betonieranweisungen für die einzelnen Betonierabschnitte;
- Überwachungskonzept der Baustelle (z. B. Annahme, zusätzliche Frisch- und Festbetonprüfungen, Temperaturverlauf im Bauteil);
- Nachbehandlungskonzept, Steuerung des Wärmeabflusses;
- Dokumentation.

Für das Vorgehen bei Abweichungen von den Sollvorgaben sind die notwendigen Maßnahmen festzulegen und die Verantwortlichen zu benennen. Insbesondere Abweichungen gegenüber den Annahmen der Tragwerkplanung sind zu überprüfen und erforderlichenfalls Maßnahmen zu ergreifen.

3 Konstruktive Maßnahmen zur Begrenzung der Rissbreiten

3.1 Maßnahmen zur Steuerung der Rissentwicklung

Risse entstehen in massigen Bauteilen vorwiegend in den ersten Tagen nach dem Betonieren infolge abfließender Hydratationswärme. Aufgrund der großen Querschnitte massiger Bauteile kommt es im Bauteilinneren zu nahezu adiabatischen Temperaturverhältnissen und infolgedessen zu hohen Bauteiltemperaturen. Mit zunehmender Hydratation des Betons nimmt dessen Wärmeentwicklung ab und die Bauteiltemperaturen passen sich mit der Zeit den zumeist niedrigeren Umgebungstemperaturen an. Aus der Abkühlung resultieren Bauteilverkürzungen, die bei behinderter Verformung zu Zwangsspannungen und damit verbunden zu Trennrissbildung im Beton führen können.

Des Weiteren entstehen beim Abfließen der Hydratationswärme ungleichmäßige Temperaturgradienten über den Bauteilquerschnitt. Die daraus resultierenden Eigenspannungen können zu Schalenrissen im Beton mit ungünstigen Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit der Bauteile führen.

Eigen- und Zwangsspannungen im jungen Alter bestimmen häufig den erforderlichen Bewehrungsgehalt zur Begrenzung der Rissbreite und übertreffen oft die in späterem Alter auftretenden Spannungen aus äußeren Lasten.

Wirksame Maßnahmen zur Risskontrolle, d. h. zur Minimierung von Anzahl und Breite der Risse bis hin zur Rissvermeidung, müssen in erster Linie darauf abzielen, die Zugbeanspruchungen des jungen Betons infolge Abfließen der Hydratationswärme möglichst gering zu halten. Eine ausführliche Darstellung dieses Themas auf dem Stand der Technik ist in [1] und [2] enthalten.

3.2 Bewehrung

3.2.1 Rissbreitenbegrenzung durch Bewehrung

Die Forderung nach Begrenzung der Rissbreiten (DIN 1045-1, Abschnitt 11.2) mit dem Ziel, gebrauchstaugliche und dauerhafte Bauwerke zu erhalten, gilt auch für massige Bauteile. Nach DIN 1045-1, Abschnitt 11.2.2, ist zur Aufnahme von Zwangeinwirkungen und Eigenspannungen eine Mindestbewehrung anzuordnen, die in der Lage ist, die Rissbreite wirksam zu begrenzen. Die Bemessung erfolgt hierbei für diejenige Schnittgrößenkombination, die zur Erstrissbildung führt. Erreicht die Größenordnung der Zwangsschnittgröße nicht die Risschnittgröße, darf die Mindestbewehrung für die nachgewiesene maximale Zwangsschnittgröße ermittelt werden.

Bei wasserundurchlässigen massigen Bauteilen sollten die Anforderungen der WU-Richtlinie [3] hinsichtlich der Rissbreite eingehalten werden. Abweichungen für den Rechenwert der Rissbreite w_k sind mit dem Bauherrn abzustimmen. Bei dickeren Bauteilen, insbesondere bei solchen mit kleinsten Abmessungen $> 2,0$ m, können für die rechnerische Rissbreite aufgrund der größeren Dicke und des ausgeprägteren Selbstheilungseffektes größere Werte als nach WU-Richtlinie angenommen werden (s. z. B. [4]).

Häufig werden bei Bauteilen mit im Hochbau üblichen Abmessungen zur Berechnung der Zwangsschnittgrößen vereinfachte, auf der sicheren Seite liegende Annahmen getroffen, z. B. zentrischer Zwang. Diese Vorgehensweise kann bei massigen Bauteilen zu unwirtschaftlichen Bewehrungsgehalten führen, die außerdem den Einbau und das Verdichten des Betons erschweren.

Um technisch und wirtschaftlich sinnvolle Bewehrungsgehalte zu erzielen, kann es angemessen sein, bei massigen Bauteilen, insbesondere bei solchen mit kleinsten Abmessungen $> 2,0$ m, zur Rissbreitenbegrenzung genauere Berechnungen und Überlegungen anzustellen, die folgende Randbedingungen berücksichtigen [2, 3, 4, 5]:

- Art und Größe der Verformungsbehinderung des Bauteils (Lagerung, Behinderung durch angrenzende Bauteile);

- Wärmefreisetzungsrate des verwendeten Betons, z. B. aus Erfahrungswerten, Kalorimeterversuchen o. ä.;
- Zeitliche und räumliche Temperaturentwicklung während der Erwärmungs- und Abkühlphase unter Beachtung der thermischen Randbedingungen, u. a. auch Sommer- und Winterverhältnisse, z. B. aufgrund von Erfahrungen an ausgeführten Bauwerken, Temperaturfeldberechnungen oder Messungen an Bauwerken;
- Sinnvolle Annahmen für die zeitlich veränderlichen Materialkennwerte des Betons unter Berücksichtigung der regionalen Verhältnisse, insbesondere Zugfestigkeit, E-Modul, Kriechen/Relaxation, Schwinden, Temperaturdehnzahlen, gegebenenfalls in Abhängigkeit von der Art der Gesteinskörnung.

Eine wirklichkeitsnahe Berechnung kann eine aufwändige Ingenieuraufgabe darstellen. Im Einzelfall dürfen Vereinfachungen vorgenommen werden, wenn aus der Praxis bewährte Verfahren oder aus der Literatur bekannte Anhaltswerte vorliegen. Für den Fall der gezwängten Wand auf einem Fundament sind z. B. auch Vorgehensweisen nach [6] geeignet.

Bei der Ermittlung von Zwang- und Eigenspannungen dürfen nichtlineare Berechnungsmodelle verwendet werden.

Eine wichtige Größe bei der Ermittlung der Zwangsschnittgrößen ist die Zugfestigkeit des Betons. Können der Zeitpunkt der Erstrissbildung und die dann wirksame Zugfestigkeit genauer nachgewiesen werden, so darf diese Zugfestigkeit bei der Dimensionierung der Mindestbewehrung zugrunde gelegt werden (s. a. [7]). Zur Ermittlung der wirksamen Zugfestigkeit aus Laborprüfungen werden in [8] Beiwerte angegeben (s. a. [5]). Weiterhin ist anzumerken, dass in den Bemessungsgleichungen nach DIN 1045-1 zur Ermittlung der Rissbreite der Einfluss von Dauerlasten eingearbeitet ist. Für eine kurzzeitige Beanspruchung, wie sie der Zwang aus abfließender Hydratationswärme darstellt, dürfen entsprechende Anpassungen vorgenommen werden (s. a. [7]).

Es ist sicherzustellen, dass die Annahmen der Berechnungen mit den Eigenschaften der verwendeten Ausgangsstoffe und des Betons sowie mit den Bedingungen auf der Baustelle übereinstimmen.

3.2.2 Stababstände

Insbesondere bei dicken Sohlplatten müssen große Betonmengen durch eine ggf. eng liegende Bewehrung hindurch eingebaut werden. Erschwerend kommen der u. U. erheblich tiefer liegende Betoniergrund und die zumeist mehrlagige Bewehrungsführung hinzu. Um Brückenbildungen und Entmischungen zu verhindern, ist bereits in der Planungsphase sicherzustellen, dass ausreichende, bis zur unteren Bewehrungslage freie Betonieröffnungen angeordnet werden. Zusätzlich sind ausreichend Rüttelgassen vorzusehen.

Größtkorn (D) und Stababstände sind aufeinander abzustimmen. Für massige Bauteile ist das Größtkorn zur Reduzierung des Zementleimvolumens und damit zur Verringerung der Hydratationswärmeentwicklung möglichst groß zu wählen (z. B. ≥ 32 mm bei Rundkorn). Bei stark bewehrten Bauteilen kann im Bereich der unteren und oberen Bewehrungslage der Einsatz von Gesteinskörnungen mit reduziertem Größtkorn sinnvoll sein (z. B. untere Bewehrungslage 8 mm oder 16 mm, obere Bewehrungslage 16 mm wegen Schwinden/Oberflächenbearbeitung).

Der lichte Stababstand paralleler Einzelstäbe einer Bewehrungslage sollte – von Ausnahmen wie z. B. Übergreifungsstößen oder Stützenfüßen abgesehen – bei Platten überwiegend den Wert von $3 \cdot D$ und bei Wänden überwiegend den Wert von $2 \cdot D$ nicht unterschreiten. Dies gilt nicht für den Abstand zwischen den Bewehrungslagen.

4 Betontechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Rissbildung und Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

4.1 Begrenzung des Temperaturanstiegs infolge Hydratationswärmeentwicklung

4.1.1 Betontechnische Maßnahmen

Bereits bei der Festlegung des Betons ist besonderes Augenmerk auf die Erwärmung während der Hydratation und die maximale Temperatur im Bauteil während der Erhärtung zu legen. Dies kann u. a. durch Wahl geeigneter Zemente und Betonzusammensetzungen sowie durch niedrige Frischbetontemperaturen (s. 4.1.2) erreicht werden.

In erster Linie sollte auf eine möglichst geringe Eigenerwärmung des Betons geachtet werden. Dabei kommt der Auswahl des Bindemittels eine besondere Bedeutung zu. Durch die Verwendung von Zementen mit niedriger Hydratationswärme (LH, VLH) oder einen teilweisen Austausch des wärmeerzeugenden Zementes gegen puzzolanische Zusatzstoffe wie Flugasche wird weniger Wärme während der Hydratation freigesetzt.

Zemente mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung sind in den einschlägigen Normen (DIN EN 197-1, DIN EN 14216) über entsprechende Grenzwerte definiert (max. 270 J/g bzw. max. 220 J/g nach 7 Tagen). Bei Verwendung von Zementen mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH) sollte aber auch auf eine noch ausreichend schnelle Festigkeitsentwicklung geachtet werden. Insbesondere bei massigen Bauteilen mit Bauteilabmessungen nur wenig über 0,80 m Dicke ist das Temperaturmaximum schon nach wenigen Tagen erreicht. Hat der Beton in diesem Stadium nur eine sehr geringe Betonfestigkeit erlangt, kann es trotz der geringen Erwärmung dennoch zu Rissbildungen kommen (s. a. [9, 11]).

Bei der Konzeption des Betons sind eine möglichst niedrige Frischbetontemperatur und eine langsame Wärmefreisetzung anzustreben. Insbesondere bei dickeren Bauteilen (kleinste Bauteilabmessung > 2,0 m) ist es bei der Festlegung von Beton nach Eigenschaften sinnvoll, neben einer Begrenzung der Höchsttemperatur des Frischbetons auch die zulässige Wärmeentwicklung während der Hydratation (beispielsweise innerhalb der ersten 7 Tage) zu limitieren. Hierzu sind gegebenenfalls auch die entsprechenden Nachweisverfahren festzuschreiben (vgl. Richtlinie Teil 2, Abschnitt 6.2.3). Dazu bieten sich beispielsweise volladiabatische/semiadiabatische Kalorimeterversuche oder auch Temperaturmessungen in großformatigen und/oder wärmegeprägten Probelöcken an [4, 12]. Falls solche Werte im Vorfeld bestimmt werden sollen, ist dies in die Leistungsbeschreibung aufzunehmen.

Um die oftmals maßgebliche Beanspruchung „Hydratationswärme“ angemessen begrenzen zu können, müssen für massige Bauteile auch die Mindestzementgehalte gegenüber den Regelungen in DIN 1045-2 abgesenkt werden (s. a. Abschnitt 4.2). Erstrecken sich die Betonierarbeiten über längere Zeiträume, können für Sommer und Winter den jeweiligen Temperaturrandbedingungen angepasste Betone zweckmäßig sein, die sich beispielsweise im Zementgehalt, der Zementart oder der Zementfestigkeitsklasse unterscheiden.

Zur Verringerung der Rissgefahr ist es darüber hinaus vorteilhaft, Gesteinskörnungen mit niedriger Temperaturdehnzahl (z. B. Kalksteine, Basalt) anstelle von solchen mit hoher Temperaturdehnzahl (z. B. quarzitisches Kies) einzusetzen. Dadurch werden die Temperaturverformungen bzw. die daraus resultierenden thermischen Zwang- und Eigenspannungen gering gehalten. Der Vorteil, den eine Verringerung der Temperaturdehnzahl mit sich bringt, muss möglicherweise sorgfältig gegen eine im Hinblick auf die Hydratationswärmemenge nachteilige Erhöhung des Bindemittelgehaltes bzw. einen erhöhten Zusatzmittelbedarf abgewogen werden. Beispielsweise kann sich bei Verwendung von Splitten ein erhöhter Wasseranspruch ergeben.

Zur Minimierung der Hydratationswärme kann es bei massigen Bauteilen entsprechender Dimension (z. B. dicke Bodenplatten, große Fundamente und Sohlen etc.) zweckmäßig sein, bei der Festlegung der Betonzusammensetzung zwischen den dauerhaftigkeitsrelevanteren Randbereichen und den weniger exponierten Kernbereichen eines Bauteils zu differenzieren und unterschiedlich zusammengesetzte Betone mit unterschiedlicher Wärme- und Festigkeitsentwicklung zu verwenden.

Bei den beschriebenen technischen Maßnahmen zur Verringerung der Hydratationswärme ist stets auch darauf zu achten, dass der Frischbeton einwandfrei verarbeitet werden kann und die vorgegebenen Festbetoneigenschaften sicher erreicht werden.

4.1.2 Frischbetontemperatur

Niedrige Frischbetontemperaturen wirken sich besonders günstig auf die Reduzierung des Temperaturanstiegs im Bauteil aus. Daher sollten bei massigen Bauteilen möglichst niedrige Frischbetontemperaturen angestrebt werden. Geeignete Maßnahmen hierzu sind z. B.:

- Berieselung der Gesteinskörnungen mit Kaltwasser unter Ausnutzung der Verdunstungskälte;
- Verwendung von Frischwasser (kein Restwasser);
- Begrenzung der Zementtemperatur;
- Beschattung der Lagereinrichtungen;
- Betonieren während der Nachtstunden.

Mit den genannten Maßnahmen können i. d. R. Frischbetontemperaturen ≤ 25 °C sichergestellt werden. Bei länger anhaltender heißer Witterung sind auch Temperaturen ≤ 30 °C nur mit einer aktiven Kühlung des Betons bzw. dessen Ausgangsstoffe (z. B. durch Flüssigstickstoff, Eis) zu erreichen. Das Einmischen von flüssigem Stickstoff kann sowohl bei der Herstellung des Betons im Werk als auch nachträglich auf der Baustelle im Fahrmischer erfolgen. Allerdings bedarf es einiger Erfahrung, geeigneter Einrichtungen, spezieller Verfahrensweisen und Vorversuchen, um den Flüssigstickstoff ohne negative Auswirkungen, wie z. B. das Gefrieren des Frischbetons, einzumischen.

Die Zugabe von Scherbeneis zum Frischbeton als Teil des Zugabewassers ist zwar äußerst wirksam, jedoch aufgrund des hohen Installationsaufwands nur bei sehr großen Baumaßnahmen mit mehreren 100.000 m³ zu kühlendem Beton wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar [13].

Jegliche Maßnahmen der aktiven Kühlung sind mit erheblichen Kosten und deutlich längeren Einbauzeiten des Betons verbunden. In der Regel sind daher betontechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Maximaltemperatur im Bauteil wirtschaftlicher als eine Begrenzung der Frischbetontemperatur durch aktive Kühlung. Falls eine Begrenzung der Frischbetontemperatur vorgesehen ist, sollte diese aufgrund des damit verbundenen Aufwandes als separate Position im Leistungsverzeichnis ausgeschrieben werden.

4.2 Sicherstellung einer gleichwertigen Dauerhaftigkeit

Bei der Festlegung der Betonzusammensetzung ist in jedem Fall eine im Hinblick auf die jeweiligen Dauerhaftigkeitsanforderungen günstige Porenstruktur des Zementsteins anzustreben. Hierzu gehört insbesondere die Begrenzung des für die maßgebenden Transportvorgänge (kapillares Saugen, Permeation und Diffusion) relevanten Kapillarporenraumes, der maßgeblich durch den Wasserzementwert des Betons bestimmt wird. Entsprechende Grenzwerte für den Wasserzementwert sowie weitere Anforderungen an die Zusammensetzung und die Eigenschaften von Beton werden daher in DIN 1045-2, Tabellen F.2.1 und F.2.2, vorgegeben.

Die Grenzwerte nach DIN 1045-2, Tabellen F.2.1 und F.2.2, dürfen bei Betonen für massige Bauteile gemäß Richtlinie an folgenden Stellen unter- bzw. überschritten werden:

1. Reduzierung des Mindestzementgehaltes von 320 auf 300 kg/m³ in den Expositionsclassen XD2, XD3, XS2, XS3, XF2, XF3, XF4 und XA2.
2. Reduzierung des Mindestzementgehaltes bei Anrechnung von Zusatzstoffen von 270 auf 240 kg/m³ in der Expositionsklasse XA1.
3. Veränderung des höchstzulässigen Wasserzementwertes von 0,45 auf 0,50 bei den Expositionsclassen XD3 und XS3 bei gleichzeitiger Einschränkung auf bestimmte Zemente und Kombinationen aus Zementen und Flugasche.
4. Abminderung der Mindestdruckfestigkeitsclassen von C35/45 auf C30/37 in den Expositionsclassen mit einem höchstzulässigen Wasserzementwert von 0,50.

Zu 1. und 2. Mit der Reduzierung des Mindestzementgehaltes von 320 auf 300 kg/m³ bei den Expositionsclassen XD2, XD3, XS2 und XS3 wird Fußnote b) aus DIN 1045-2, Tabelle F.2.1, umgesetzt. Die Reduzierung des Zementgehaltes um 20 bzw. 30 kg/m³ in den verschiedenen Expositionsclassen zugunsten der Hydratationswärmeminimierung ist unter Dauerhaftigkeitsaspekten generell als eher unkritisch einzustufen, leistet aber durchaus bereits einen merklichen Beitrag zur Reduzierung des Temperaturanstieges. Hinzu kommt, dass bei massigen Bauteilen zur Reduzierung der Wärmeentwicklung des Betons im jungen Alter vorzugsweise hüttensandhaltige Zemente eingesetzt bzw. hydratationswärmerelevante Portlandzementklinkeranteile durch Flugasche ersetzt werden. Hieraus resultieren, eine angemessene Nachbehandlung vorausgesetzt, vergleichsweise dichte, im Hinblick auf die Sicherstellung des Korrosionsschutzes der Stahleinlagen (XD, XS) und bestimmte Dauerhaftigkeitseigenschaften (XA) günstige Betone. Auch bei den Expositionsclassen XF werden das entsprechende Anforderungsniveau der DIN 1045:1988-07 und damit der bisherige Erfahrungshorizont nicht verlassen. Besondere Kompensationsmaßnahmen für die Reduzierung des Zementgehaltes zur Erzielung eines zu den Regelungen der DIN 1045-2 vergleichbaren Dauerhaftigkeitsniveaus sind deshalb nicht erforderlich.

Zu 3. Die Erhöhung des höchstzulässigen Wasserzementwertes von 0,45 auf 0,50 bei XS3 und XD3 und die damit einhergehende Veränderung des "Kontrollinstrumentes" für dessen Einhaltung, die Mindestdruckfestigkeitsklasse, ist erforderlich, um eine ausreichende Verarbeitbarkeit von Massenbetonen ohne Erhöhung des Zementleimgehaltes oder ohne unverhältnismäßig hohe Zugabe von Betonzusatzmitteln sicherzustellen. Die mit der Veränderung des höchstzulässigen w/z-Wertes verbundene Erhöhung des Kapillarporenanteils im Zementstein und der daraus resultierende geringere Chlorideindringwiderstand müssen in diesem Fall allerdings kompensiert werden. Dies geschieht durch eine Beschränkung dieser Regelung auf Betone mit Zementen und/oder Zusatzstoffen, die gegenüber den nicht aufgeführten Zementarten und Bindemittelkombinationen nachweislich zu einer Erhöhung des Chlorideindringwiderstand beitragen [14] (siehe Richtlinie, Tabelle F.2.1, Fußnote e).

Zu 4. In DIN 1045-2 wird für die Expositionsclassen XD2, XS2, XF2, XF3 und XA2 bei einem maximalen w/z-Wert von 0,50 die Mindestfestigkeitsklasse C35/45 gefordert. Praxiserfahrungen zeigen, dass die Festigkeitsklasse C35/45 mit Zementen der Festigkeitsklasse 32,5 R bei einem Wasserzementwert von 0,50 oft nicht erreicht wird, so dass häufig auf Zemente höherer Festigkeitsclassen oder niedrigere Wasserzementwerte zurückgegriffen werden muss. Um ein gleichwertiges Dauerhaftigkeitsniveau sicherzustellen, wird eine Abminderung der Festigkeitsklasse auf C30/37 bei den genannten Expositionsclassen in DIN 1045-2 nur unter bestimmten Randbedingungen erlaubt. Bei massigen Bauteilen wird dagegen eine Abminderung generell zugelassen, da hier neben der Dichtigkeit des Zementsteins auch die Gefahr der Rissbildung durch Zemente höherer Festigkeitsklasse und Betone mit kleineren Wasserzementwerten berücksichtigt werden muss.

5 Besonderheiten bei der Herstellung, Festlegung und Konformität von Beton

5.1 Gleichmäßigkeit der Ausgangsstoffe

Die Eigenschaften der Ausgangsstoffe können produktionsbedingt schwanken. Diese Schwankungen sind insbesondere bei der Betonherstellung für länger andauernde Baumaßnahmen entsprechend zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sollten je nach Anwendungsfall ergänzende Maßnahmen zur Sicherstellung der Gleichmäßigkeit der Ausgangsstoffe getroffen werden, wobei auf einen vertretbaren Aufwand zu achten ist. Einzelheiten hierzu sind in einem Qualitätssicherungsplan festzulegen (s. a. Abschnitt 2.2).

5.2 Konformitätskontrolle

Die reduzierten Probenahmehäufigkeiten der Richtlinie (s. Teil 2 der Richtlinie, Ergänzung zu 8.2.1.2, Tabelle 13) und der Prüfplan nach 8.2.1.2 gelten auch für die Spaltzugfestigkeit.

Bei Betonen, deren Druckfestigkeit zu einem späteren Zeitpunkt als 28 Tage geprüft wird, kann es auf Grund der sehr niedrigen Anfangsfestigkeit zweckmäßig sein, die Proben mehr als einen Tag in der Form zu belassen.

Hinsichtlich der Lagerungsart der Proben für die Druckfestigkeitsprüfung wird in der Richtlinie für Massenbetone keine von DIN EN 12390-2 abweichende Lagerung vorgeschlagen. Mit der Wasser- und der Luftlagerung nach DIN EN 12390-2 und DIN EN 12390-2, Anhang NA, werden für die durch die Richtlinie abgedeckten Massenbetone mit den festgelegten Anforderungen an die Betonzusammensetzung nach den Tabellen F.2.1 und F.2.2 zwei adäquate Lagerungsmöglichkeiten von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung angeboten. Im Einzelfall kann es sinnvoll sein, eine andere Lagerungsart zu vereinbaren (s. DIN EN 206-1, Abschnitt 5.5.1.1).

Für Betone mit langsam reagierenden Zementen oder Bindemitteln ist insbesondere bei einem gewählten Nachweissalter für die Druckfestigkeit von 56 oder 91 Tagen eine dauernde Wasserlagerung der Proben ratsam. Eine der Feuchtlagerung im Alter von 7 Tagen anschließende Luftlagerung bis zur Prüfung würde aufgrund der kleinen Abmessungen des Würfels zu einem schnellen Austrocknen über die Oberflächen des Probekörpers führen, wodurch die Hydratation der langsam erhärtenden Zemente und die puzzolanische Reaktion der Flugasche in ihrem Fortschritt stark beeinträchtigt werden.

Die Anwendung des Betonfamilienprinzips ist auch für Beton nach der vorliegenden Richtlinie unter Beachtung der Kriterien in DIN 1045-2, Anhang K, möglich. Allerdings ist die Einteilung in Betonfamilien bei Massenbeton i. d. R. wenig sinnvoll, da die Vorteile des Betonfamilienprinzips bei Betonen, die innerhalb kurzer Zeiträume in großer Menge produziert werden, vergleichsweise gering sind (s. a. [10]).

6 Besonderheiten bei der Ausführung

6.1 Einbringen und Verdichten des Betons

Der Einbau mehrerer aufeinanderfolgender Betonierlagen sollte frisch in frisch erfolgen. Bei Einbau der jeweils nächsten Betonierlage muss der darunterliegende Beton noch verdichtbar sein, damit ein „Vernadeln“ der Betonierlagen möglich ist. Gegebenenfalls muss der Beton angemessen verzögert werden.

6.2 Nachbehandlung, Schutz und Steuerung des Wärmeabflusses

Massige Bauteile sind entsprechend DIN 1045-3, Abschnitt 8.7, nachzubehandeln und zu schützen. Bei massigen Bauteilen besteht darüber hinaus ein erhebliches Rissrisiko infolge Hydratationswärme: Hohe Maximaltemperaturen im Bauteil können zu verstärkter Trennrissbildung, hohe Temperaturgradienten zwischen Bauteilkern und Bauteiloberfläche zu Schalenrissbildung führen.

Die Temperaturgradienten können durch entsprechende wärmedämmende Maßnahmen gering gehalten werden. Hierbei ist zu beachten, dass derartige Maßnahmen nicht zu einer deutlichen Anhebung der Maximaltemperatur im Bauteil führen sollten. Wenig vorteilhaft ist es beispielsweise, wärmedämmende Matten unmittelbar nach Abschluss der Betonierarbeiten aufzubringen. In diesem Fall würde der Wärmeabfluss von Anfang an behindert werden und dadurch die Maximaltemperatur im Bauteil stärker ansteigen als ohne diese Matten. In der Abkühlphase kann es nachteilig sein, wärmedämmende Matten auf einmal komplett zu entfernen, weil dies zu einem Temperaturschock an der Bauteiloberfläche führen könnte. Eine gestaffelte Rücknahme von einzelnen Lagen der Wärmedämmmatten ist hier oftmals günstiger. Alle Maßnahmen zur Steuerung des Wärmeabflusses sollten im QS-Plan (s. a. Abschnitt 2.2) festgelegt und entsprechend den Klimabedingungen im Bauzeitenplan berücksichtigt werden.

Eine Kühlung des bereits eingebauten Betons durch Abführen der Hydratationswärme über eine Rohrkühlung beschleunigt im Allgemeinen den Wärmeabfluss. Die Maximaltemperatur kann dadurch aber in der Regel trotz des erheblichen Mehraufwandes nur um wenige Grad reduziert werden. Daher sind solche Verfahren nur in Ausnahmefällen sinnvoll.

6.3 Überwachung

Sofern Vorgaben zur Frischbetontemperatur oder zur Temperaturverteilung und -entwicklung im Bauteil vorliegen, sollten entsprechende Temperaturmessungen vorgenommen und die Ergebnisse do-

kumentiert werden. Bauteil- und Lufttemperaturen sollten mindestens bis zum Überschreiten des Temperaturmaximums aufgezeichnet werden. Abweichungen gegenüber den Vorgaben sind zu überprüfen und erforderlichenfalls Maßnahmen zu ergreifen.

Umfang und Häufigkeit der Frisch- und Festbetonprüfungen für die Errichtung massiger Betonbauteile sollten bei großen Betonkubaturen in Prüfplänen festgelegt werden. Die Prüfhäufigkeit darf gegenüber DIN 1045-3, Anhang A.2, im Einvernehmen mit der Überwachungsstelle entsprechend der einzubringenden Betoniermenge verringert werden.

7 Literatur

- [1] Rostásy, F.S.; Krauß, M.; Budelmann, H.: Planungswerkzeuge zur Kontrolle der frühen Rissbildung in massigen Betonbauteilen, Teile 1 bis 7. In: Bautechnik 79 (2002).
- [2] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: Sachstandbericht Beschränkung von Temperaturrissen im Beton, Oktober 1996.
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), November 2003.
- [4] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215).
- [5] Bundesanstalt für Wasserbau: Merkblatt Rissbreitenbegrenzung für frühen Zwang in massiven Wasserbauwerken.
- [6] Rostásy, F.S.; Henning, W.: Zwang und Rissbildung in Wänden auf Fundamenten. Berlin, Beuth. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 407, 1990.
- [7] Curbach, M.; Tue, N.; Eckfeldt, L.; Speck, K.: Zum Nachweis der Rissbreitenbegrenzung gemäß DIN 1045-1. Berlin, Beuth. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 525, 2003.
- [8] Rostásy, F.S.; Krauß, M.: Frühe Risse in massigen Betonbauteilen – Ingenieurmodelle für die Planung von Gegenmaßnahmen. Berlin, Beuth. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 520, 2001.
- [9] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: Merkblatt Beton für massige Bauteile, Oktober 1996.
- [10] Erläuterungen zu DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226-1. Berlin, Beuth. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 526, 2003.
- [11] Wischers, G.: Betontechnische und konstruktive Maßnahmen gegen Temperaturrisse in massigen Bauteilen. In: Beton 14 (1964), H. 1, S. 22-26 und H. 2, S. 65-73.
- [12] Hintzen, W.; Thielen, G.: Betontechnische Einflüsse auf die Rissbildung infolge Hydratationswärme. In: Betontechnische Berichte 1998-2000, Verlag Bau & Technik (VBT), Düsseldorf, 2001, S. 61-72.
- [13] Springenschmid, R.; Breitenbücher, R.: Kühlen von Beton. In: Zement und Beton 32 (1987), H. 4, S. 134-138.
- [14] Wiens, U.: Zur Wirkung von Steinkohlenflugasche auf die chloridinduzierte Korrosion von Stahl in Beton. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 551 (= Dissertation), 2005.



