

Risse in jungem Beton

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **63 (1995)**

Heft 10

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153808>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Risse in jungem Beton

Die Phase des jungen Betons ist für die späteren Eigenschaften eines Betons von entscheidender Bedeutung.

Charakteristisch für den Baustoff Beton ist die Tatsache, dass er die wichtigsten Gebrauchseigenschaften nicht unmittelbar nach Beendigung des Herstellungsprozesses, sondern teilweise erst viel später erreicht [1]. Dabei wird auch die Phase des jungen Betons durchlaufen. Die in diesem Zeitraum ablaufenden Vorgänge, z. B. die Hydratation oder Volumenänderungen, haben einen entscheidenden Einfluss auf wichtige Eigenschaften wie die Tragfähigkeit, die Dauerhaftigkeit und die Gebrauchsfähigkeit des erhärteten Betons [2].

Allgemeines

Unmittelbar nach der Zugabe des Anmachwassers setzen im Beton physikalische und vor allem chemische Reaktionen ein, die schliesslich zum Festbeton führen. Frischbeton weist dadurch bereits während der Herstellung einen gewissen Widerstand gegenüber mechanischen Verformungen auf. Dieser Widerstand nimmt im Verlauf der Zeit zu; der Beton steift an. Die Phase des Ansteifens ist beendet, wenn der Frischbeton nicht mehr verarbeitet werden kann. Die anschliessende Erstarrungsphase dauert bis zum Zeitpunkt, in dem der Beton eine gerade noch messbare Festigkeit (etwa $0,1 \text{ N/mm}^2$)

aufweist. Mit dem Beginn der Erhärtung des Betons setzt die Phase des jungen Betons ein, die ungefähr bis zum Zeitpunkt der grössten Erhärtungsgeschwindigkeit dauert. Dieser ist in *Abbildung 1* durch den Wendepunkt in der Erhärtungskurve definiert. Als grüner Beton wird übrigens frisch verdichteter, noch nicht erstarrter Beton bezeichnet. Die Zeit, während der von jungem Beton gesprochen werden kann, hängt stark von der Zusammensetzung des Frischbetons und den äusseren Umständen ab. Im Normalfall beginnt sie einige Stunden

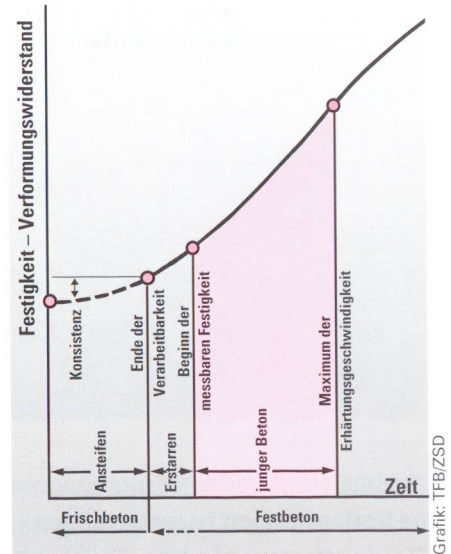


Abb. 1 Reaktionsphasen eines Frischbetons mit ursprünglich weicher Konsistenz (Schema) nach [3].

nach der Wasserzugabe und endet nach ein bis zwei Tagen.

Gefahren für jungen Beton

Die Niveaus der Druck- und der Zugfestigkeit, des Elastizitätsmoduls sowie weiterer physikalischer Grössen des jungen Betons sind anfänglich sehr tief. Sobald eine gewisse Steifigkeit vorhanden ist, füh-

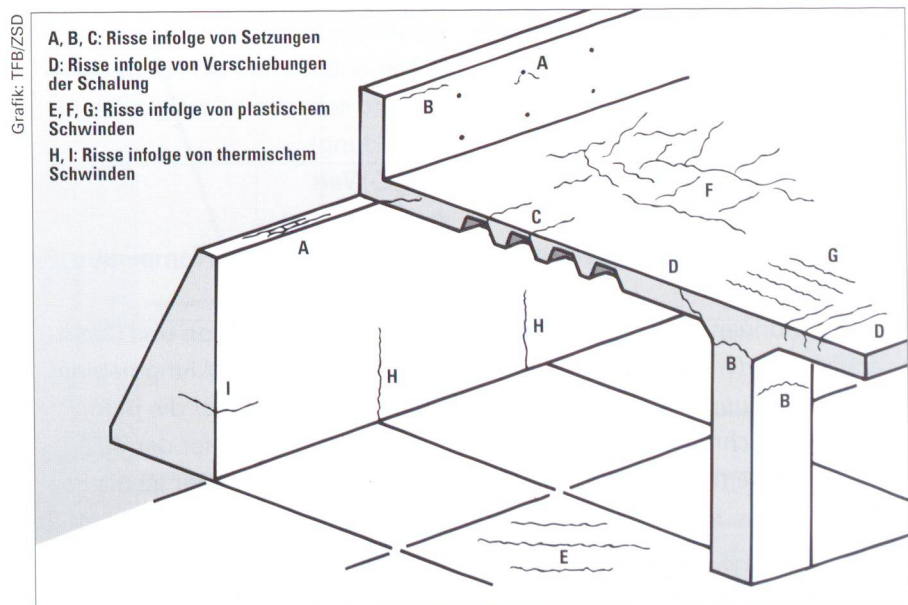
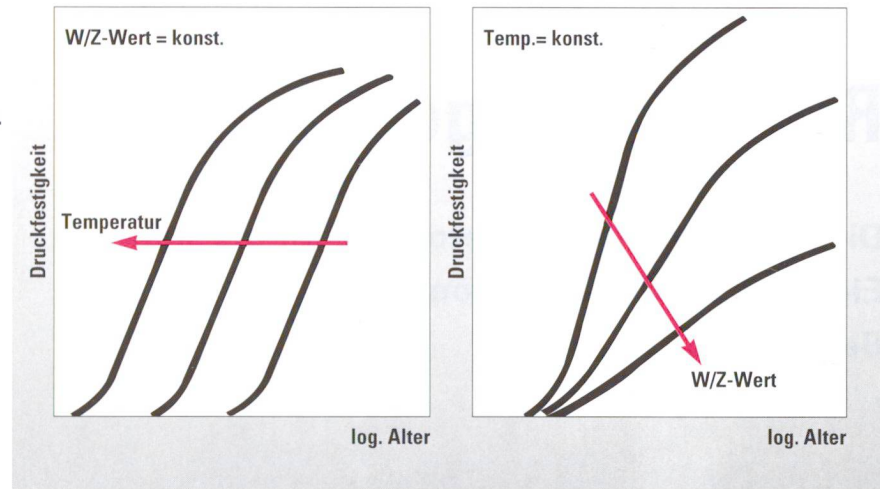


Abb. 2 Schematische Darstellung von Rissen, die in jungem Beton entstehen können (nach [11] und [12], modifiziert).

Abb. 3 Schematische Darstellung der Festigkeitsentwicklung von Beton in Abhängigkeit von der Temperatur (links) und des W/Z-Werts (rechts) nach [4].



Grafik: TFB/ZSD

ren behinderte oder aufgezwungene Verformungen zu Spannungen. Druckverformungen bzw. Druckspannungen bilden dabei in der Regel keine unmittelbare Gefahr, ganz im Gegensatz zu Zugspannungen, die in gewissen Erhärtungsphasen die zulässigen Grenzen überschreiten und zu Rissen führen können [2]. Eine Auswahl von Rissen, die in jungem Beton entstehen können, ist in *Abbildung 2* an typischen Stellen eines hypothetischen Bauwerks eingezeichnet.

Zu den wichtigsten negativen Einflüssen auf jungen Beton gehören:

- Schwinden als Folge von Austrocknung
- Schwinden als Folge von internen Volumenänderungen während der Hydratation
- Ausdehnung als Folge von Erwärmung während der Hydratation des Zements
- Schwinden als Folge von Abkühlung
- Verformungen als Folge von Verschiebung der Schalung

Diese Aufzählung zeigt bereits, dass eine Beschreibung des Verhaltens von jungem Beton recht komplex sein muss. Wenn im folgenden einzelne Teilaspekte genauer besprochen werden, muss immer berücksichtigt werden, dass sich verschiedene Phänomene überlagern

und dadurch verstärken oder abschwächen können.

Zwei Eigenschaften von jungem Beton

Die Druckfestigkeit von jungem Beton nimmt anfänglich exponentiell zu. Nach einigen Tagen, also wenn es sich nicht mehr um jungen Beton handelt, verflacht die Zunahme. Sie ist aber nie vollständig beendet. Eine wichtige physikalische Eigenschaft des jungen Betons ist auch die Zugfestigkeit. Ihre Entwicklung wird grösstenteils durch die gleichen Faktoren beeinflusst wie diejenige der Druckfestigkeit [4]. Die wichtigsten Faktoren, die die Festigkeitsentwicklung beeinflussen, sind:

- Zementart und Feinheit (je feiner, desto schnellere Festigkeitsentwicklung)
- W/Z-Wert
- Zusatzmittel
- Nachbehandlung (Temperatur, Feuchtigkeit)

Die Zementhydratation und damit die Festigkeitsentwicklung beginnt um so früher, je höher die Betontemperatur ist. Je tiefer der W/Z-Wert ist, desto schneller ist die Festigkeitsentwicklung. Die beiden Beobachtungen sind in *Abbildung 3* schematisch dargestellt.

Zusatzmittel können die Festigkeitsentwicklung von jungem Beton

sehr stark beeinflussen, allen voran Beschleuniger und Verzögerer.

Behinderte Verformungen

Rissbildungen in Betonteilen erfolgen oft bereits wenige Stunden nach dem Einbringen und Verdichten des Betons. Einige der Ursachen werden nachstehend kurz zusammengefasst. Die Hydratation von Portlandzement wird separat behandelt.

Setzungen

Das Bluten von frisch verdichtetem Beton während den folgenden zwei bis drei Stunden kann bei Platten zu einer Setzung um etwa 1 % ihrer Dicke führen [4]. Auch bei vertikalen Bauteilen wie Wänden kann die Verkürzung recht gross sein. Risse entstehen, wenn das Setzen behindert ist, beispielsweise durch die Bewehrung.

Als Abwehrmittel gegen Setzungsrisse kommen in Frage:

- Vermindern des Blutens durch entsprechende Betonrezepturen
- Unterbrechen des Betonierens für einige Stunden, wenn Dimensionsänderungen des Bauteils zu erwarten sind
- Nachverdichten

Frühschwinden [5]

Frühschwinden wird auch Plasti-



Frühschwindrisse
in Betonbelag.

Foto: Gilbert Cimma, TFB

ches Schwinden oder Kapillarschwinden genannt. Es wird im noch nicht erhärteten Beton beobachtet, wenn die Oberfläche hell wird, weil mehr Überschusswasser verdunstet als durch Bluten ausgeschieden wird. Besonders gefährdet sind grosse Flächen (Oberflächen von Decken, Bodenplatten), die nicht ausreichend nachbehandelt werden.

Wenn junger Beton rasch austrocknet, treten innerhalb weniger Stunden erhebliche Verkürzungen auf. Nach dem Einsetzen der Erhärtung eilt die Steifigkeitsentwicklung der

dung 4) erkannt werden. Sie sind meist 0,5 bis 2 mm breit und verlaufen entlang der Zuschlagkörner. Unter ungünstigen klimatischen Bedingungen erreicht das Frühschwindmass bis zu 4 mm/m [6].

Chemisches Schwinden

Vollständig hydratisierter Portlandzement beansprucht ein um rund 8 % geringeres Volumen als die Ausgangsstoffe Zement und Wasser. Solange der junge Beton noch wenig erhärtet ist, schwindet er relativ stark. Mit zunehmender Steifigkeit nimmt die Verkürzungs-

tendenz schnell ab. Graphisch ist dies in *Abbildung 5* anhand des Schwindens eines Betonzylinders dargestellt, der ohne Feuchtigkeitsabgabe an die Umgebung erhärtete [2].

Das chemische Schwinden liegt in der Grössenordnung von 1 mm/m und mehr. Besonders in hohen Stützen und Wänden kann es zu Rissen oder anderen Schäden führen, wenn die vertikale Verkürzung beispielsweise durch die Bewehrung, durch Schalungsteile oder durch angrenzenden, bereits erhärteten Beton behindert wird.

Grafik: TFB/ZSD

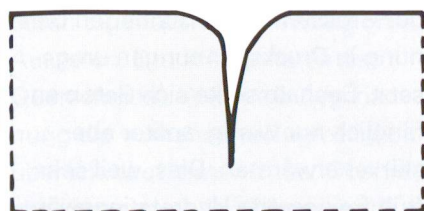
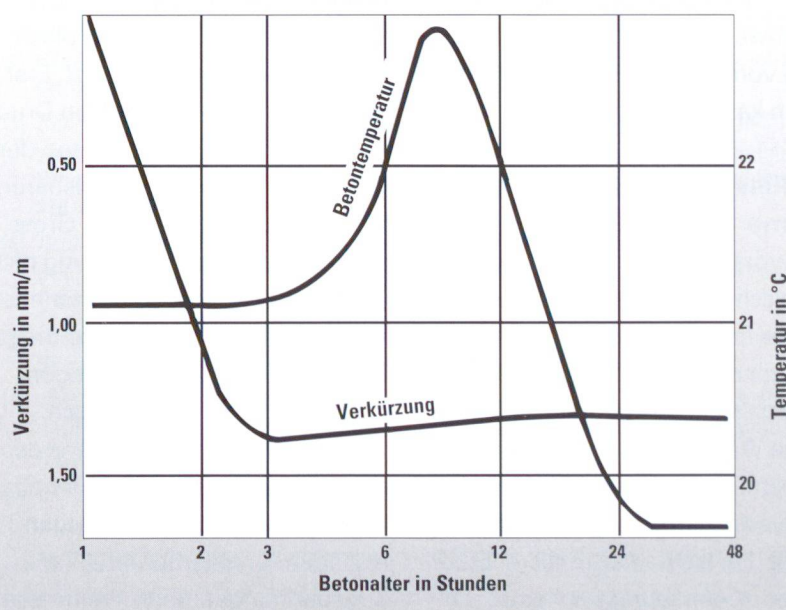


Abb. 4 Frühschwindriss mit «eingezogenen» Risskanten (schematische Darstellung nach [5]).

Festigkeitsentwicklung voraus. In dieser Phase ist junger Beton gegenüber Zwangsspannungen, die aus Verformungsbehinderungen entstehen, sehr empfindlich. Im schlechtesten Fall treten Frühschwindrisse auf.

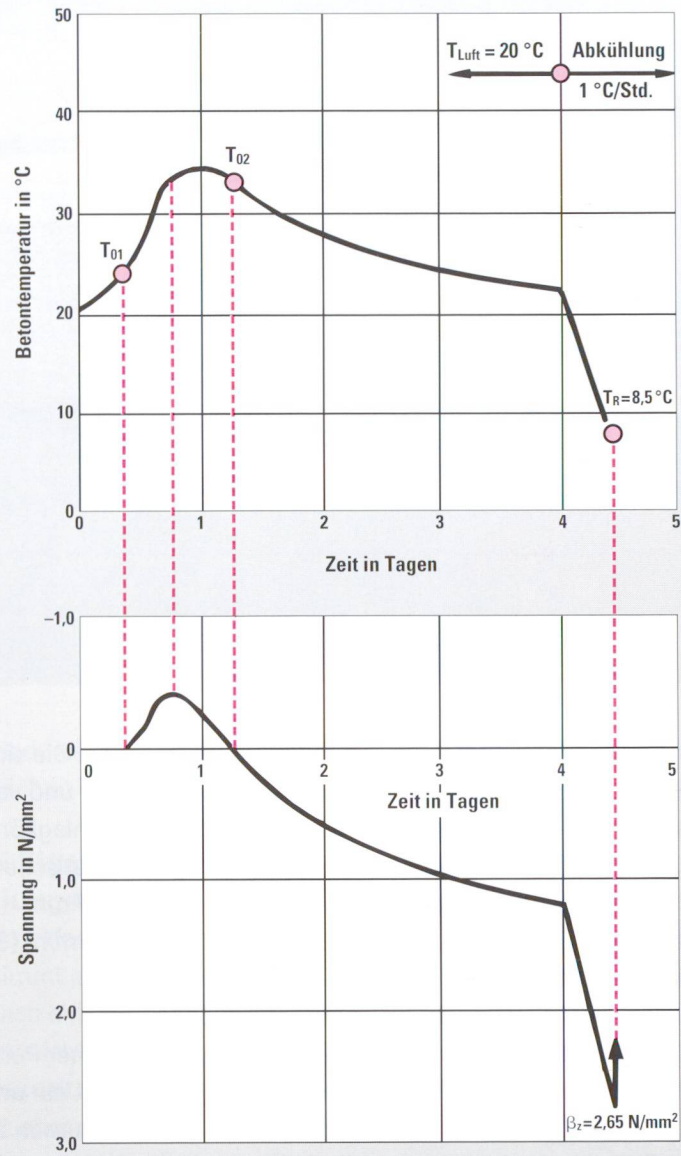
Frühschwindrisse sind keilförmig und können an den «eingezogenen» Risskanten (siehe *Abbil-*



Grafik: TFB/ZSD

Abb. 5 Chemisches Schwinden eines Betonzylinders (350 kg Portlandzement, W/Z = 0,55, 20 °C); Feuchtigkeitsabgabe an Umgebung unterbunden (nach [2]).

Abb. 6 Temperaturverlauf während Hydratation in Bauteilen mittlerer Dicke und Entwicklung der Zwangsspannungen bei Verformungsbehinderung (nach [8] und [9], modifiziert).



Grafik: TFB/ZSD

Formänderungen der Schalung

Einige Stunden nach dem Verdichten des Betons ist seine Verformbarkeit minimal. Wenn in dieser Phase Formänderungen oder Verschiebungen der Schalung auftreten, kann der junge Beton die entstehenden Spannungen nicht immer rissfrei abtragen.

Entscheidend für die Formänderung, die dem Beton zugemutet werden kann, ist die Bruchdehnung (unter Zug aufnehmbare Dehnung bis zum Bruch). Sie beträgt auch im ungünstigsten Zeitpunkt mindestens 0,02 ‰. Daraus lässt sich beispielsweise errechnen, dass eine 16 cm dicke Betonplatte bei 6 m Spannweite nur einer Durchbiegung von rund 1 mm sicher rissfrei folgen kann [7].

Einflüsse der Hydratationswärme

Die Hydratation des Zements ist ein chemischer Prozess, bei dem viel Wärme frei wird, besonders während der ersten Erhärtungsphase. Dadurch steigt die Betontemperatur, bis die Wärmeverluste über die Bauteiloberfläche grösser sind als die bei der Hydratation erzeugte Wärmemenge. Für ein Bauteil mittlerer Dicke ist dies in *Abbildung 6* schematisch dargestellt. Gleichzeitig wird auch der Spannungsverlauf bei behinder-

ter Temperaturdehnung des jungen Betons dargestellt [8, 9].

Beton, der sich erwärmt, dehnt sich aus. Bei behinderter Temperaturdehnung wird anfänglich die gesamte Dehnung spannungsfrei in plastische Verformung umgesetzt. Erst ab der Temperatur T_{01} treten Druckspannungen auf, da der Beton der Wärmedehnung einen messbaren Widerstand entgegensetzt. Gross wird die Druckbeanspruchung nicht, denn der Elastizitätsmodul ist noch klein und das Relaxationsvermögen (Abbau von Zwangsspannungen durch Kriechen) ist noch hoch.

Wenn sich Beton abkühlt, werden die Druckspannungen wieder abgebaut und gehen bei der zweiten Nullspannungstemperatur T_{02} in Zugspannungen über. Trennrisse entstehen, wenn die Abkühlung bis zur Temperatur T_R fortschreitet, bei

der die Zugspannungen grösser als die Zugfestigkeit sind.

Bei wenig rissempfindlichen Betonen wird während der Erwärmung der Grossteil der verhinderten Dehnung in Druckspannungen umgesetzt. Deshalb sollte sich Beton anfänglich nur wenig, später aber stärker erwärmen. Dies, weil sehr früh freigesetzte Hydratationswärme infolge des niedrigen Elastizitätsmoduls zu niedrigen Druckspannungen, später jedoch zu ungünstigen Zwangzugspannungen und Rissen (T_R hoch) im jungen Beton führt [8].

Die Risstemperatur T_R ist um so tiefer, je niedriger der Zementgehalt und je höher der W/Z-Wert bei konstantem Zementgehalt sind (zwischen $W/Z = 0,45$ und $0,65$: Risstemperatur um $1,5^\circ\text{C}$ vermindert, wenn W/Z-Wert um $0,05$ erhöht). Sie kann auch

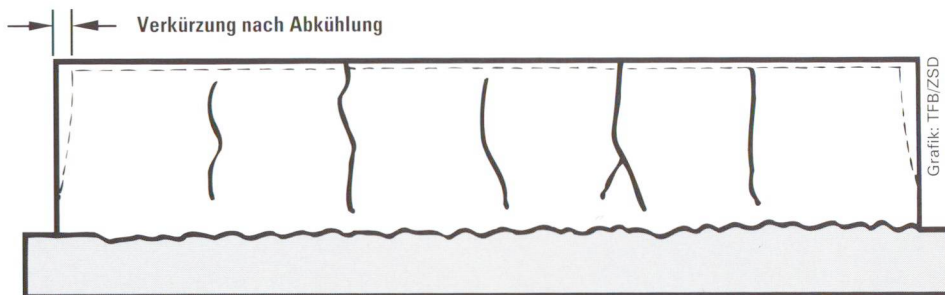


Abb. 7 Spaltrissbildung infolge von behinderter Verformung beim Abkühlen der auf ein Fundament betonierten Mauer (nach [10], modifiziert).

gesenkt werden, wenn ein Teil des Zements durch puzzolanische Zusatzstoffe (Beispiel: Steinkohlenflugaschen) ersetzt, die Frischbetontemperatur erniedrigt oder ein Zement mit langsamer Hydratationswärmeentwicklung verwendet wird [9]. Künstlich eingeführte Luftporen sowie bestimmte Verzögerer senken die Risstemperatur ebenfalls [8].

Schalensrisse [10]

Durch die Hydratation in jungem Beton treten – besonders in massigen Bauteilen – Temperaturunterschiede im Querschnitt auf, da aussen Wärme abfließt. Daraus resultieren Eigenspannungen (Zug im Äusseren, Druck im Inneren des Querschnitts). Wenn die Zugspannung die vorhandene Zugfestigkeit überschreitet, treten in der Oberfläche sogenannte Schalensrisse auf [10]. Teilweise schliessen sich diese Risse wieder, da nach dem vollständigen Abkühlen des Bauteils eine Spannungsumkehr erfolgt: aussen herrscht Druck, innen Zug. Schalensrisse lassen sich vermeiden. Voraussetzung ist, dass der Temperaturunterschied zwischen Kern und umgebender Luft beim Ausschalen 20 °C nicht überschreitet. Bei weniger als 2 m dicken Bauteilen trifft dies in der Regel nach vier bis sieben Tagen ein.

Spaltrisse [10]

Bauteile, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten betoniert werden, unterscheiden sich im Ausmass der Hydratation und damit auch der Hydratationswärmeentwicklung. Bei Verformungsbehinderung durch vorhandenen Beton (beispielsweise ein Fundament) führen Zwangsspannungen im jüngeren Beton zu Zugspannungen. Wenn diese Zug-

spannungen die Zugfestigkeit überschreiten, treten teilweise durchgehende Spaltrisse auf (Abbildung 7). Spaltrisse lassen sich durch Fugen verhindern, deren Abstand vom Temperaturunterschied zwischen den Betonieretappen abhängt. So darf der Fugenabstand in einem Bauteil bei einer Differenz von 30 °C maximal 20 m betragen [10].

Kurt Hermann

Literatur

- [1] Wierig, H.-J., «Technologie der Betone aus erdfeuchten Mischungen», Betonwerk + Fertigteil-Technik **61** [1], 95–98 (1995).
- [2] Weigler, H., und Karl, S., «Junger Beton: Beanspruchung – Festigkeit – Verformung», Betonwerk + Fertigteil-Technik **40** [6], 392–401/[7], 481–484 (1974).
- [3] Wierig, H.-J., «Frischbeton und Bauwerksqualität», Beton **33** [5], 175–179 (1983).
- [4] Rilem committee 42-CEA, «Properties of set concrete at early ages – State-of-the-art-report», Materials and Structures **14** [84], 399–450 (1981).
- [5] Schiessl, P., und Reuter, C., «Sachstandsbericht Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen», Teilbericht 3: «Durchlässigkeit von gerissenem Beton gegenüber Flüssigkeiten und Gasen», Deutscher Ausschuss für Stahlbeton **416**, 47–111 (1991).
- [6] Grube, H., «Ursachen des Schwindens von Beton und Auswirkungen auf Betonbauteile», Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft 52 (1991), Beton-Verlag, Düsseldorf.
- [7] Wischers, G., und Manns, W., «Ursachen für das Entstehen von Rissen in jungem Beton», Beton **23** [4], 167–171 und 222–228 (1973).
- [8] Springenschmid, R., und Breitenbücher, R., «Beurteilung der Reissneigung anhand der Risstemperatur von jungem Beton bei Zwang», Beton- und Stahlbetonbau **85** [2], 29–34 (1990).
- [9] Eibl, J., (Hrsg.), «Betonkalender», 84. Jahrg., Teil 1 (1995), 37–40.
- [10] Manns, W., «Rissvermeidung bei der Betonherstellung – Ursachen und Erkenntnisse zur Rissbildung von grünem und jungem Beton», Beton **43** [10], 504–510 (1993).
- [11] «Scheurkalender», Betoniek **8** [25], 1–8 (1991).
- [12] «Durable concrete structures – CEB design guide, 2nd Ed. 1989», CEB-Bulletin **182**, 1–267 (1989).