Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 50-51 (1982-1983)
Heft: 23

Artikel: Die Austrocknung des jungen Betons
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153666

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

CEMENTBULLETIN

NOVEMBER 1983 JAHRGANG 51 NUMMER 23

Die Austrocknung des jungen Betons

Wasserbedarf für die Erhärtung. Austrocknungsarten. Kritischer Feuchtigkeitsgehalt. Einflüsse auf die Betonqualität.

Zement braucht für seine Erhärtung Wasser. Die wichtigste der Erhärtungsreaktionen ist die Wasseranlagerung an die Calciumsilikate $3CaO \cdot SiO_2$ und $2CaO \cdot SiO_2$, die im Portlandzement zu ungefähr 50% bzw. 25% enthalten sind. Die entsprechende chemische Formulierung zeigt anteilmässig die Ausgangsstoffe und die Reaktionsprodukte:

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6\,H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3\,Ca(OH)_2$$
$$2(2CaO \cdot SiO_2) + 4\,H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + Ca(OH)_2$$

Calciumsilikat + Wasser → Calciumsilikathydrat + Calciumhydrat

Bei diesem Reaktionsablauf haben 100 g PC einen Wasserbedarf von 17 g, und es entstehen 62 g Calciumsilikathydrat und 30 g Calciumhydrat. Da Zement zudem noch hydratisierbare Aluminate enthält, rechnet man im gesamten mit einem Wasserbedarf von 20 bis 22 g pro 100 g PC, was einem Wasserzementwert der Betonmischung von 0.20–0.22 entspricht.

Das entstehende Calciumsilikathydrat scheidet sich unter Volumenzunahme in Form eines festen Geles aus, und das Calciumhydrat bildet darin eingebettete sehr feine Kristalle.

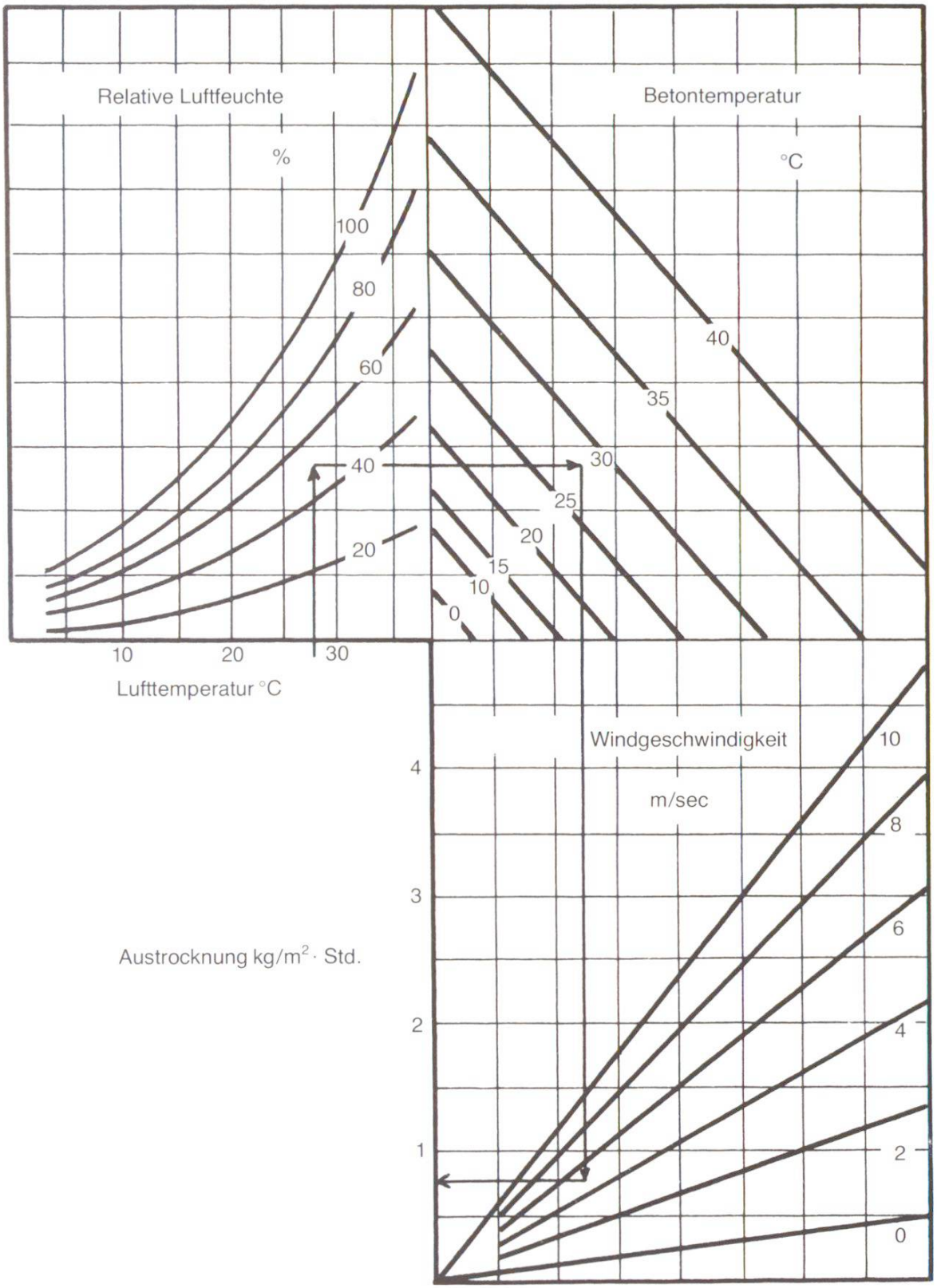

Abb. 1 Diagramm zur Bestimmung der Austrocknungsrate an offen liegenden Betonflächen (gemäss Literaturangabe [1]).
Eingezeichnetes Beispiel:
Lufttemperatur: 28 °C, relative Luftfeuchtigkeit: 50 %
Betontemperatur: 28 °C, Windgeschwindigkeit: 5 m/sec.
Ergebnis: Austrocknungsrate 0,8 kg/m² · Std.

3 Das Gel enthält noch oberflächenaktiv gebundenes Wasser, das zur Festigkeitsbildung ebenfalls noch etwas beiträgt, und zwar etwa 20 g Wasser pro 100 g PC. Das chemisch und oberflächenaktiv gebundene Wasser entspricht bei vollständiger Hydratation, d.h. bei vollständiger Erhärtung, einem Wasserzementwert von ~ 0.4 ($= \frac{20 + 20}{100}$). Es verdunstet unter normalen Bedingungen nicht. Erst bei 100°C beginnt das oberflächenaktiv, bei 300°C das chemisch gebundene Wasser sich abzuspalten. Aus diesen Gegebenheiten lassen sich wichtige Regeln ableiten:

- Die Menge des chemisch und oberflächenaktiv gebundenen Wassers ist ein Mass für die erzeugte Festigkeit des Zementsteins.
- Das eingebundene Wasser ist begrenzt auf etwa 40%, entsprechend einem Wasserzementwert von 0.4.
- Das eingebundene Wasser bleibt bei gewöhnlichen Austrocknungsprozessen unbehelligt. Die Festigkeit des Zementsteins bleibt auch bei Temperaturen von 300°C und mehr erhalten (s. «CB» 79/23).
- Wird dem frischen oder jungen Beton das freie Wasser entzogen, so kommt die Erhärtungsreaktion zum Stillstand, und die Festigkeit des Zementsteins bleibt entsprechend tief.

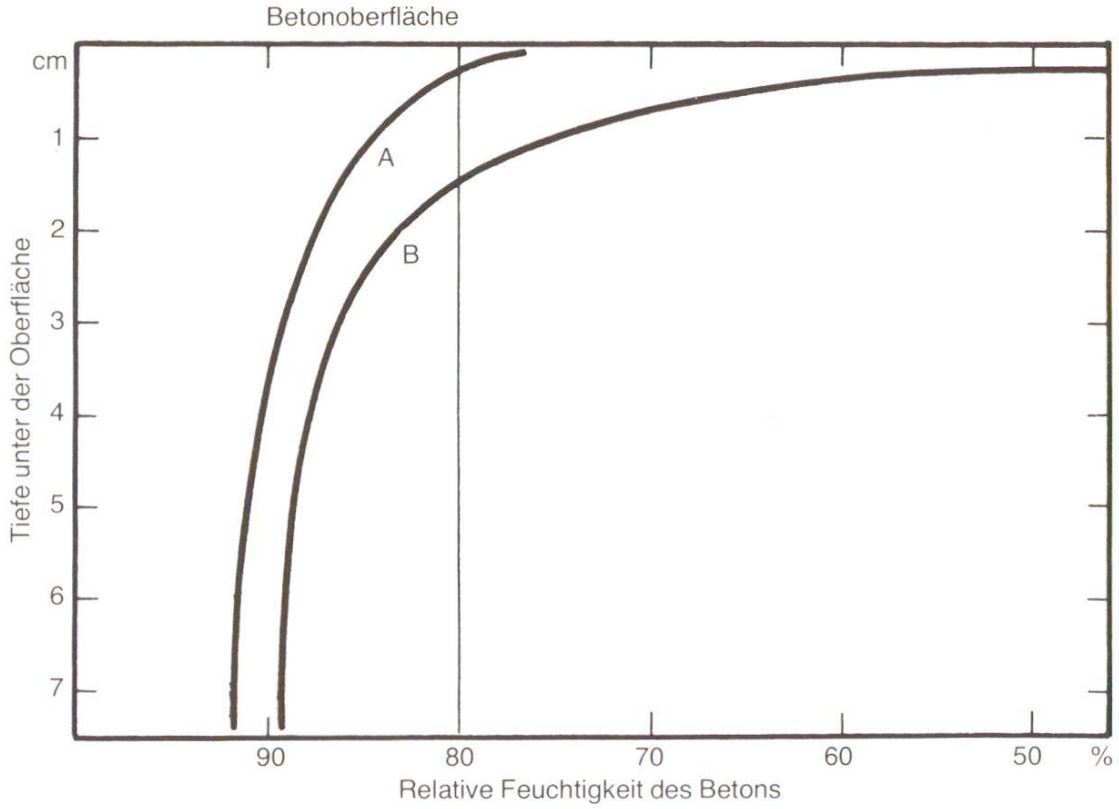

Abb. 2 Gradient des Feuchtigkeitsgehaltes in der Tiefe einer 15-cm-Betonplatte. Beträgt die Betonfeuchtigkeit mehr als 80% r.F., kann die Erhärtungsreaktion weiter laufen (gemäss Literaturangabe [2]).
Kurve A bei umgebender Luft von 75% r.F.
Kurve B bei umgebender Luft von 35% r.F.

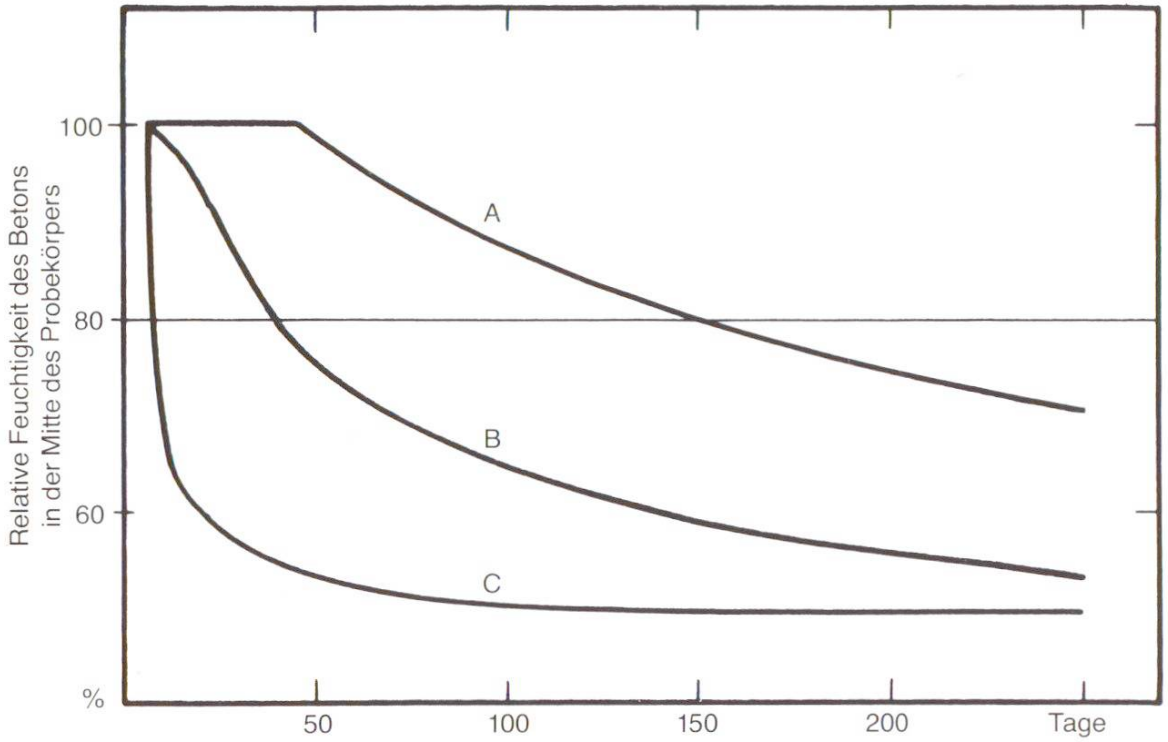

Abb. 3 Austrocknungsgeschwindigkeit je nach Durchmesser des Betonkörpers (Zylinder). 7 Tage Nasslagerung, anschliessend Trockenlagerung bei 50 % r. F. (gemäss Literaturangabe [2]).
Kurve A in 150-mm-Zylinder
Kurve B in 75-mm-Zylinder
Kurve C in 20-mm-Zylinder

Beim Einbringen und Verdichten des Betons ist normalerweise Wasser im Überschuss vorhanden, denn man arbeitet mit Wasserzementwerten von über 0.45. Aber der Austrocknungsprozess kann sofort einsetzen, je nach den äusseren Bedingungen mit verschiedener Intensität. Im günstigsten Fall verbleibt immer noch genügend Wasser, um die vollständige Hydratation des Zementes zu gewährleisten. Im ungünstigen Fall trocknet der junge Beton, insbesondere an der Oberfläche, vollständig aus, so dass die Festigkeit, Dichtigkeit, Abnutzungsfestigkeit und andere Qualitäten beeinträchtigt bleiben.

Die Austrocknung des Betons kann noch andere Folgen haben. Der Beton schwindet und es entstehen u. U. Risse. Das Schwinden des erhärteten Betons beruht auf einer Volumenabnahme, die ungefähr einem Hundertstel des auslösenden Wasserverlustes entspricht. Beim Frühschwinden, das Risse im verdichteten, aber noch nicht festen Beton zur Folge hat, ist dieser Anteil grösser, d. h. die Öffnungen der Frühschwindrisse entsprechen in ihrem Volumen etwa einem Zehntel des verdunsteten Wassers.
Damit sind zwei wesentliche Folgen der Betonaustrocknung kurz beschrieben. Es interessiert nun, wie das Austrocknen abläuft, mengenmässig und zeitlich, und welches die Auswirkungen im besprochenen Sinne sind.

5 Die Austrocknung von Beton ist der eine Teil seines Feuchtigkeitsaustausches mit der Luft. Je nach Umständen wandern Wassermoleküle vermehrt von der Luft zum Beton oder vom Beton zur Luft. Ein Gleichgewichtszustand besteht, wenn jeweils gleichviele Moleküle in beiden Richtungen sich bewegen.

Es sind zwei Arten von Austrocknung zu unterscheiden:
- Die übertretende Wassermenge wird beschränkt durch Aufnahmefähigkeit der Luft.
- Die übertretende Wassermenge wird beschränkt durch den ungenügenden Wassernachschub aus dem Beton.

Im einen Fall könnte der Beton mehr Wasser abgeben als die Luft aufnehmen kann (besonders bei Frischbeton oder bei hoher Luftfeuchtigkeit), im andern Fall könnte die Luft mehr Wasser aufnehmen als der Beton an seine Oberfläche bringen kann (besonders bei Festbeton oder bei geringer Luftfeuchtigkeit).

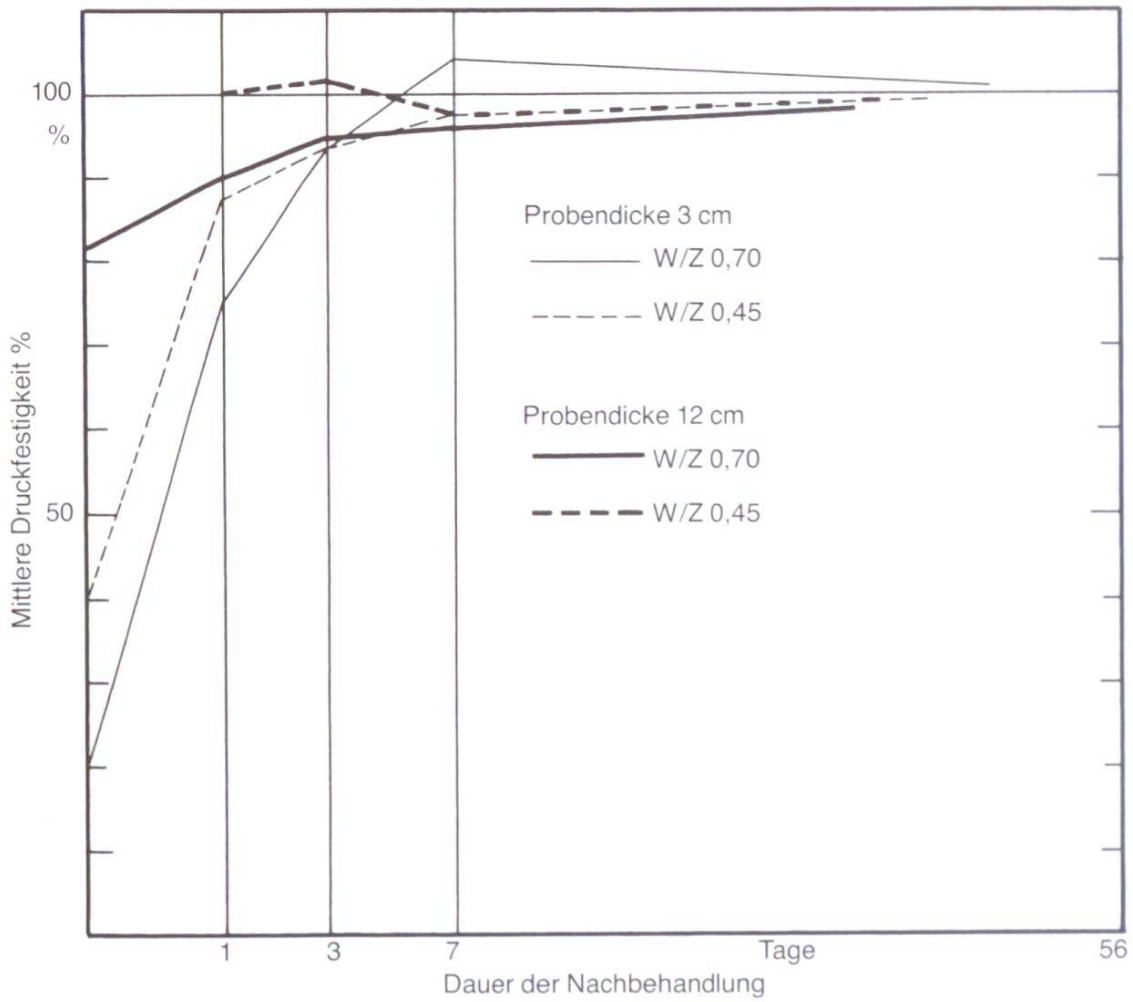

Abb. 4 Wirkung der Austrocknung auf die Betonfestigkeit. Nachbehandlung durch Nasslagerung, anschliessend 5 Tage Austrocknen. 100 % Festigkeit bei 56 Tage Nasslagerung (gemäss Literaturangabe [3]).

Austrocknung gemäss Fall 1

Das Diagramm Abb. 1 ist den amerikanischen Empfehlungen für die Nachbehandlung des Betons entnommen (Literaturangabe [1]). Es ermöglicht die Verdunstungsrate an einer liegenden Betonoberfläche abzuschätzen, wobei die Einflüsse der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Betontemperatur und der Windgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Die Anwendung des Diagramms ist besonders für frisch eingebrachten Beton gedacht. Wenn mehr als 1000 g Wasser pro m^2 verdunsten, besteht die Gefahr für Frühschwindrisse. Es entsteht eine Volumenverringerung entsprechend einer Schichtdicke von 1 mm. Die Risse entstehen, weil sich die Oberfläche entsprechend dem Volumenverlust nicht absenken kann und weil in diesem Zustand noch keine Zugfestigkeit des Betons vorhanden ist. Frühschwindrisse können sich bis zur Unterseite einer Betondecke fortsetzen. Bei Beton, der zu Wasserausscheidungen neigt, sind sie auf den Oberflächenbereich beschränkt.

Austrocknung gemäss Fall 2

Es ist anzunehmen, dass die Austrocknung des Betons sehr bald einmal nach der zweiten Art erfolgt, wo der Engpass nicht mehr in der Aufnahmefähigkeit der Luft liegt, sondern in der Abgabefähigkeit des Betons. Der Übergang wird vielleicht angezeigt, wenn die Betonoberfläche trocknet und eine hellere Farbe annimmt. In diesem Zustand zieht sich die Wasseroberfläche, an welcher die Verdunstung geschieht, in den Porenraum des Zementsteins zurück und wird so massgeblich verkleinert. Die Austrocknungsmenge ist dann nicht mehr von der bewegten Luft, sondern von der Porosität des Zementsteins abhängig. Im weiteren Verlauf kommt hinzu, dass sich der Porenraum zunehmend verkleinert und die Porenausgänge zunehmend verengen, indem die Gelbildung weitergeht bzw. sich am Ort der Verdunstung Kalkhydrat ausscheidet. Die Austrocknungsrate wird demnach stark verlangsamt, und es ergibt sich ein stark zunehmender Feuchtigkeitsgehalt von aussen nach innen (Abb. 3).

Einflüsse auf die Betonqualität

Die Folgen des Frühschwindens sind bekannt und bereits beschrieben. Diese speziellen Risse können durch Nachvibration meistens noch gut geschlossen werden und zudem treten sie meistens in Gebäudedecken auf, die nicht exponiert sind und in der Regel noch mit Überzügen und Beschichtungen versehen werden.

Das langsame Austrocknen der zweiten Art hat verschiedene negative Einflüsse, die aber meistens nur an der Oberfläche wirken. Davon sind die Rissebildungen kürzlich im «CB» 82/4 beschrieben worden, und wir treten im folgenden nur auf die möglichen Schädigungen der Festigkeit ein.

Das Fehlen von freiem Wasser unterbricht naturgemäss die Erhärtungsreaktionen. Eine Untersuchung hat gezeigt, dass der Zementstein mindestens 80 % relative Feuchtigkeit (= 80 % des Sättigungswertes) enthalten muss, um den Hydratationsprozess im Gang zu halten (s. Literaturangabe [2]). In einem Betonkörper bildet dieser Grenzwert eine Fläche, die parallel zur Oberfläche liegt. Es interessiert vor allem, in welcher Tiefe sich diese kritische Grenze jeweils befindet. Bei steigender Luftfeuchtigkeit oder bei abnehmender Porosität verschiebt sie sich gegen die Aussenseite und umgekehrt (Abb. 3).

Die Abb. 2 zeigt, dass der Beton durch Austrocknung eigentlich nur im Bereich seiner Oberfläche geschädigt werden kann. Aber gerade an die Oberfläche werden besondere qualitative Anforderungen gestellt, wie Härte, Abnutzungsfestigkeit, Dichtigkeit, chemische Beständigkeit und gute Haftung von Beschichtungen.

Ein alter Ausspruch des Handwerkers besagt, dass der Beton «verbrannt» sei. Dieses Bild trifft gut zu. Die Oberfläche kann durch Austrocknen porös, wassersaugend, weich und absandend werden. Das Ausmass der Schädigung ist sehr unterschiedlich je nach Zeitpunkt, Dauer und Stärke der Austrocknung. Eine Betonschalung verhindert das Austrocknen. Unter der Schalung weist der junge Beton eine relative Feuchtigkeit von über 80 % auf. Eine Ausnahme besteht vielleicht bei stark ausgetrockneten und porösen Holzbrettern.
Wenn der Beton drei bis vier Tage alt ist (bei trockenem Winterwetter fünf bis sechs Tage), stösst die 80-%-Grenze wieder an die Oberfläche vor, und die Schädigungsgefahr wird behoben.

Spezialfälle

Wenn nach einer Trockenperiode Wasser wieder hinzukommt, so geht die Erhärtungsreaktion weiter. Der geschädigte Bereich ist aber in seinem Gefüge gelockert, so dass nur ein Teil der ursprünglich möglichen Festigkeit aufgeholt werden kann. Der Weitergang der Hydratation ist ohnehin gegeben, wenn Wasser entweder aus der Luft mit mehr als 80 % r.F. eindringt oder solches aus der Kernzone

des Betonkörpers nachgeliefert wird. Dieser Nacherhärtungsprozess verläuft jedoch sehr langsam.

Wenn der Wasserverlust nicht durch Verdunstung, sondern durch Ausfiltrierung unter Druck erfolgt (bei poröser Schalung, Korngerüstfiltern, Vacuumbeton), so entsteht ein qualitativ sehr hochstehender, praktisch porenfreier Zementstein, der wegen der Kompression und der ungenügenden Hydratation dunkelgrau gefärbt ist.

UT

Literaturangaben

[1] ACI Standard – Practice for Curing Concrete
Concrete International, November 1980, 45

[2] **R. E. Spears,** The 80 Percent Solution to Inadequate Curing Problems,
Concrete International, April 1983

[3] **P. Nischer,** Austrocknen von jungem Beton
Zement und Beton, Heft 2 (1976) 54

[4] **P. Nischer,** Austrocknen von jungem Beton
Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 3 (1976) 117

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
5103 Wildegg Postfach Telefon 064 53 17 71