

Druckfestigkeit allein garantiert keine Dauerhaftigkeit. Beton nach DIN EN 206-1 [1] bzw. DIN 1045-2 [2] muss auch dicht sein. Denn je geringer die Porosität und die Permeabilität, also je dichter der Zementstein, desto höher ist auch der Widerstand gegen äußere Einflüsse. Deshalb ist eine früh einsetzende, ununterbrochene und ausreichend lange Nachbehandlung des Betons unerlässlich, damit er gerade in den oberflächennahen Bereichen die aufgrund seiner Zusammensetzung gewünschten Eigenschaften auch tatsächlich erreicht. DIN EN 13670/DIN 1045-3 [3] fordert in Abschnitt 8.5 die Nachbehandlung des Betons während der ersten Tage der Hydratation, um das Fröhschwinden gering zu halten, eine ausreichende Festigkeit und Dauerhaftigkeit der Betonrandzone sicherzustellen, den Beton vor schädlichen Witterungsbedingungen zu schützen, das Gefrieren zu verhindern und schädliche Erschütterungen, Stoß oder Beschädigung zu vermeiden. In diesem Merkblatt werden die erforderlichen Maßnahmen beschrieben.

### ■ 1 Zweck der Nachbehandlung

Bis zur ausreichenden Erhärtung ist der frisch verarbeitete und junge Beton zu schützen gegen:

- vorzeitiges Austrocknen
- extreme Temperaturen bzw. Temperaturänderungen
- mechanische Beanspruchungen und schädliche Erschütterungen
- chemische Angriffe.

Zusätzlich muss der noch frische Beton nicht geschalter, freiliegender Oberflächen gegen Regen geschützt werden. Schutz gegen vorzeitiges Austrocknen ist erforderlich, damit u. a. die Festigkeitsentwicklung des Betons nicht infolge Wasserentzugs gestört und seine Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt wird. Die Folgen zu frühen Wasserverlustes sind: geringere Festigkeit an der Oberfläche, Neigung zum Absanden, größeres Wasseraufnahmevermögen, verminderte Witterungsbeständigkeit, geringere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe, Entstehung von Fröhschwindrissen, erhöhte Gefahr späterer Schwindrissbildung.

Trocknet Beton aus, so verringert sich sein Volumen, er schwindet. Wird diese Verformung behindert, so entstehen Gefüge- und Eigenspannungen, die zu Rissen führen können. Schwindrisse beginnen an der Oberfläche des Betons und können sich nach innen fortsetzen. Es muss dafür gesorgt werden, dass der Beton nur langsam austrocknet. Das Austrocknen sollte erst dann beginnen, wenn der Beton eine Zugfestigkeit erreicht hat, bei der er die Schwindspannungen ohne Rissbildung aufnehmen kann.

So genannte Fröhschwindrisse entstehen in erster Linie infolge einer Volumenverminderung des grünen und jungen

Betons an freiliegender Oberfläche durch scharfes Austrocknen. Dieser Vorgang wird als „plastisches Schwinden“ bezeichnet. Solange der Beton noch verformbar ist, können auftretende Fröhschwindrisse durch Nachverdichten (z. B. mit einem Oberflächenrüttler) wieder geschlossen werden.

Beton trocknet um so schneller aus, je geringer die relative Luftfeuchte und je größer die Windgeschwindigkeiten sind.

Eine bedeutende Rolle spielt auch die Temperatur, insbesondere der Unterschied zwischen der Temperatur des erhärtenden Betons und seiner direkten Umgebung. Ist die Betonoberfläche wärmer als die sie umgebende Luft, wird das Austrocknen der Betonoberfläche beschleunigt. Darauf ist besonders an nicht geschalter Oberflächen, wie z. B. bei Decken, Betonböden oder Estrichflächen, zu achten.

Eine Vorstellung von der Größenordnung der Wasserverdunstung je m<sup>2</sup> Betonoberfläche bei unterschiedlichen Bedingungen vermittelt das folgende Diagramm (Bild 1).

Das Diagramm zeigt beispielsweise, dass bei Luft- und Betontemperaturen von 20 °C, relativer Luftfeuchte von 50 % und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 20 km/h aus 1 m<sup>2</sup> nicht geschalter Betonoberfläche 0,6 kg Wasser je Stunde verdunsten kann. Mit zunehmendem

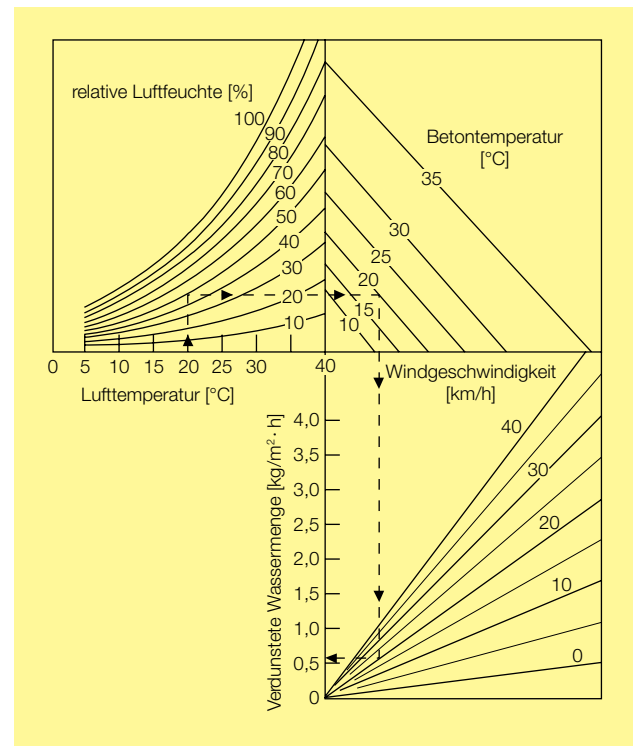


Bild 1: Das Austrocknungsverhalten von nicht geschalter Betonoberflächen in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Temperatureinfluss [4]

Temperaturunterschied zwischen Beton und Luft erhöht sich die Verdunstungsrate. Dies kann bei sommerlichen Verhältnissen der Fall sein (z. B. kühle morgendliche Lufttemperaturen), aber auch im Winter – insbesondere bei Lieferung von Warmbeton – von Bedeutung sein. Das Diagramm zeigt auch sehr deutlich, dass die Verdunstung nicht nur durch die Temperatur, sondern noch stärker durch die Windgeschwindigkeit beeinflusst wird. Darauf ist insbesondere bei flächenhaften und exponierten Bauteilen zu achten.

Ein Beispiel verdeutlicht die Bedeutung dieser Zahlen für die Praxis: Ein Frischbeton mit 180 l Wasser je m<sup>3</sup> enthält je m<sup>2</sup> in einer 1 cm dicken Schicht 1,8 kg Wasser. Die Verdunstungsrate von 0,6 kg/m<sup>2</sup> und Stunde bedeutet rechnerisch, dass dem Beton innerhalb von drei Stunden bereits eine Wassermenge entzogen wird, die dem Gesamtwassergehalt einer 1 cm dicken Betonschicht entspricht. Die negativen Auswirkungen auf Festigkeit, Verschleißwiderstand und Dichtigkeit der oberflächennahen Bereiche sind dann erheblich.

*Extreme Temperatureinflüsse*, (z. B. starke Sonneneinstrahlung), schroffe Temperaturänderung (z. B. Abkühlung durch Schlagregen) und die durch die Hydratation des Zementes entstehende Wärme führen zu Temperaturunterschieden zwischen Oberfläche und Kern eines Bauteils. Die Folge sind Spannungen, da sich die unterschiedlichen temperaturbedingten Verformungen im Bauteil gegenseitig behindern. Diese Spannungen führen bei jungem Beton, dessen Zugfestigkeit noch gering ist, häufig zu Rissen. Gegen diese äußeren Einwirkungen ist deshalb ein Witterungsschutz erforderlich. Die Temperaturunterschiede zwischen Betonoberfläche und Kern infolge der abfließenden Hydratationswärme sind zu begrenzen (i. d. R. < 20 K, bei sehr dicken Bauteilen u. U. < 12 K).

Die Temperatur übt auch einen Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung des Betons aus. Diese wird bei niedrigen Temperaturen verzögert und verläuft bei Temperaturen unter +5 °C sehr langsam. Um Schäden durch Gefrieren von frischem oder jungem Beton zu vermeiden, ist der Beton bei solchen Temperaturen wärmedämmend abzudecken, nötigenfalls ist Wärme zuzuführen. Hat ein gegen Fremdwasser (Regen, Schnee) geschützter Beton eine Druckfestigkeit von 5 N/mm<sup>2</sup> erreicht oder seine Temperatur vorher wenigstens 3 Tage 10 °C nicht unterschritten, dann gilt er als „gefrierbeständig“, d. h. widerstandsfähig gegen einmaliges Durchfrieren. Ein mehrmaliges Gefrieren und Auftauen übersteht ein junger Beton jedoch meist nicht ohne Schäden.

Die Leistungen zum Schutz des jungen Betons gegen kühle und warme Witterung sind – wie allgemein die Maßnahmen zur Nachbehandlung – eine Nebenleistung. Lediglich Vorsorge- und Schutzmaßnahmen für das Betonieren bei Lufttemperaturen unter +5 °C sowie bei über einen Zeitraum von 48 Stunden anhaltenden Lufttemperaturen von durchschnittlich über 30 °C vor dem Betonieren sind vergütungspflichtige „Besondere Leistungen“ im Sinne der VOB Teil C (DIN 18331) [5]. Grundsätzlich kann aber davon abweichend die Nachbehandlung auch als eigene Position im Leistungsverzeichnis erfasst werden.

*Mechanische Beanspruchungen* wie heftige Schwingungen und starke Erschütterungen während des Erstarrens und in der ersten Zeit des Erhärtens (z. B. bei Arbeiten an benachbar-

ten Bauteilen oder an Verkehrsbauwerken unter rollendem Verkehr) können ein Betonbauwerk schädigen, wenn hierdurch das Betongefüge oder der Verbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl gelockert wird. Der Arbeitsverlauf sollte so geplant werden, dass bis etwa 36 Stunden nach Einbringen bzw. Erhärtungsbeginn des Betons keine derartigen Beanspruchungen auftreten. Beschädigungen durch nachfolgende Arbeiten sind durch möglichst spätes Ausschalen und nach dem Ausschalen durch Kantenschutz und Schutzabdeckungen zu verhindern. Bleibende Schäden am frischen oder jungen Beton durch Regentropfen und abfließendes Regenwasser können durch eine vollflächige Folien- oder Mattenabdeckung bzw. durch Schutz vor Überströmen und schadlose Ableitung von der Betonoberfläche verhindert werden.

## ■ 2 Arten der Nachbehandlung

Die im Folgenden genannten Schutzmaßnahmen zur Nachbehandlung des Betons dürfen nur bei regnerischem, feuchtem Wetter mit mindestens 85 % relativer Luftfeuchte während der ersten Tage der Hydratation unterbleiben. Da die Luftfeuchte über den Tag variiert, darf hierfür vereinfacht das Tagesmittel angesetzt werden. Eine Mittelwertbildung über längere Zeitspannen ist nicht zulässig [6]. Da das Wetter in unserer Klimazone relativ unbeständig ist und zuverlässige Vorhersagen nur bis zu drei Tagen möglich sind, sollte der Gebrauch der 85-Prozent-Regelung sorgfältig geprüft werden.

Einzelne Regelwerke (WU-Richtlinie des DAfStb oder ZTV-ING) setzen die 85-Prozent-Regelung außer Kraft und fordern die Nachbehandlung über die nachfolgend genannten konventionellen Schutzmaßnahmen.

Schutzmaßnahmen gegen vorzeitiges Austrocknen sind:

- Abdecken mit Folien
- Auflegen Wasser speichernder Abdeckungen
- Aufbringen flüssiger Nachbehandlungsmittel
- kontinuierliches Besprühen mit Wasser, Unterwasserlagerung (Fluten)
- Belassen in der Schalung
- eine Kombination dieser Verfahren.

Die gebräuchlichste Maßnahme gegen vorzeitiges Austrocknen ist ein sorgfältiges *Abdecken mit dampfdichter Kunststoff-Folie*, die aus Gründen der Reißfestigkeit und Wiedernutzbarkeit mindestens 0,2 mm dick sein sollte. Die Folien müssen auf den noch feuchten Beton überlappend aufgelegt und an ihren Stößen befestigt werden (z. B. durch Beschweren mit Brettern oder durch Klebebänder).

Die Verwendung von Kunststoff-Folien ist besonders für Sichtbeton zu empfehlen. Auf diese Weise können unerwünschte Ausblühungen – verursacht durch nasse Nachbehandlung oder Niederschlagwasser – vermieden werden. Die Folie darf in diesem Fall nicht direkt anliegen, damit kein Kondenswasser an die Betonoberfläche gelangt, das seinerseits zu Ausblühungen führen kann. Zugluft zwischen Betonoberfläche und Abdeckung ist zu verhindern.

Beim Umschließen von Betonoberflächen mit *wasserspeichernden Materialien*, wie Jutegewebe, Strohmatte, Sand-

schichten o. Ä., ist die Abdeckung ständig feucht zu halten und ggf. zusätzlich durch eine Folie vor schneller Feuchtigkeitsabgabe zu schützen.

*Nachbehandlungsmittel (Curingmittel)* können auf die Betonoberflächen mit handelsüblichen Geräten (z. B. Obstbaumspritzern mit geeigneter Sprühdüse) aufgesprüht werden. Das Aufbringen muss vollflächig und so früh wie möglich erfolgen: bei freiliegenden Betonflächen sobald der sichtbare Wasserfilm verschwindet (Betonoberfläche mattfeucht), bei geschalteten Flächen sofort nach dem Entschalen. Wichtig ist, dass stets ein geschlossener Sprühfilm entsteht und die in der Arbeitsanweisung geforderte Menge je Quadratmeter aufgebracht wird. Diesen Mitteln ist meist ein heller Farbstoff beigemischt, sodass leicht zu erkennen ist, ob und wie gleichmäßig eine Fläche besprüht wurde. Bei hohen Temperaturen, starker Sonneneinstrahlung, starker Windeinwirkung oder extrem niedrigen Temperaturen sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Wachshaltige Nachbehandlungsmittel vermindern bei Anstrichen, Beschichtungen und Belägen die Haftung auf der Betonfläche. In diesen Fällen sind deshalb Nachbehandlungsmittel oder Reste davon zu entfernen, wenn nicht nachgewie-

**Tafel 1: Nachbehandlungsverfahren für Beton in Abhängigkeit von der Oberflächen- / Lufttemperatur**

Zeile	Art	Maßnahmen	Oberflächen-/Lufttemperatur [°C]					
			unter -3	-3 bis +5	+5 bis +10	+10 bis +15	+15 bis +25	über 25
1	Mit wasserdampfdichter Folie abdecken/ Nachbehandlungsmittel aufsprühen + mit Wasser benetzen	Abdecken oder NB-Mittel aufsprühen <i>und</i> benetzen zusätzlich: ■ Holzschalung nassen ■ Stahlschalung vor Sonne schützen ■ freie Betonoberflächen in der Schalung abdecken und benetzen					(X) <sup>2)</sup>	X
2		Abdecken oder NB-Mittel aufsprühen ggf. zusätzliche Maßnahmen wie Zeile 1			X	X	X	
3		Abdecken oder NB-Mittel aufsprühen <i>und</i> Wärmedämmung auflegen <sup>1)</sup> Verwendung wärmedämmender Schalung (z. B. Holz) sinnvoll, Stahlschalung mit Dämmmatten abhängen		X				
4		Abdecken <i>und</i> Wärmedämmung auflegen <sup>1)</sup> ; Umschließung des Arbeitsplatzes (Zelt), ggf. Beheizung (z. B. Heizstrahler) zusätzlich: Betontemperatur mindestens 3 Tage ≥ +10 °C halten	X					
5		mit Wasser benetzen/ fluten	ständig sichtbarer Wasserfilm auf der Betonoberfläche vorhalten			(X)	X	X

<sup>1)</sup> Nicht benetzen; Tau-/Regenwasser fernhalten.

<sup>2)</sup> Bei ungünstigen Bedingungen (z. B. starker Wind) und Expositionsklassen XM, XD, XF, XS sinnvoll.

sen wird, dass nachteilige Auswirkungen auf nachfolgende Arbeiten ausgeschlossen sind. Es stehen auch Kombinationsprodukte zur Verfügung, die auf der Basis von Acryl-Mischpolymerisaten, Epoxidharzlösungen mit feuchtigkeitsunempfindlichen Lösungsmitteln u.Ä. gleichzeitig die Nachbehandlung und einen Betonschutz bzw. die farbliche Gestaltung bieten. Im öffentlichen Verkehrsbau haben sich Produkte nach den TL NBM-StB [7] bewährt.

Gegen ein vorzeitiges Austrocknen ist auch das *Besprühen der Betonoberflächen mit Wasser* eine gebräuchliche Maßnahme. Die Betonoberfläche muss ständig feucht bleiben, da wechselweises Anfeuchten und Austrocknen zu Spannungen und damit zu Rissen im jungen Beton führen können. Ein direktes Bespritzen des Betons mit starkem Wasserstrahl ist zu vermeiden, da infolge der schroffen Abkühlung der Betonoberfläche, insbesondere bei massigen Bauteilen, ebenfalls Risse entstehen können. Als Hilfsmittel sind perforierte Schläuche oder Düsen, wie sie zum Rasensprengen benutzt werden, geeignet. Zur Nachbehandlung können horizontale Flächen auch unter Wasser gesetzt werden.

Bei Frost sollte eine feuchte Nachbehandlung nicht erfolgen. Da bei niedrigen Außentemperaturen unter 0 °C eine Folie zwar den Wasserverlust, nicht aber die Auskühlung an der Betonoberfläche verhindert, ist als zusätzliche Schutzmaßnahme in der Regel eine *Wärmedämmung* vorzusehen.

Bei *Belassen in der Schalung* ist saugende Holzschalung feucht zu halten und Stahlschalung gegen Aufheizung durch Sonneneinstrahlung bzw. bei niedrigen Temperaturen vor zu schneller und starker Abkühlung zu schützen.

Die vorgenannten Arten der Nachbehandlung sind in Abhängigkeit von der Außentemperatur in der Tafel 1 zusammengefasst. Eine darauf basierende baustellengerechte Checkliste zur Arbeitsanweisung und Ausführungskontrolle findet sich als Tafel 4 auf Seite 5 des Merkblatts. Sie kann ausgefüllt als Dokumentation dienen und z. B. dem Bautagebuch beigelegt werden.

Vor schädigenden *Temperatureinflüssen* kann Beton bei starker Sonneneinstrahlung und hoher Temperatur durch Sonnenschutz bzw. durch feuchte Abdeckungen geschützt werden.

Wenn junger Beton gegen schädigenden Kontakt mit angreifenden Stoffen (z. B. Chloride) geschützt werden muss, ist dies in den bautechnischen Unterlagen anzugeben.

### ■ 3 Beginn und Dauer der Nachbehandlung

Nach Abschluss des Verdichtens und der Oberflächenbearbeitung des Betons ist die Oberfläche unverzüglich nachzubehandeln. Soll die Rissbildung an der freien Oberfläche infolge Fröhschwinden vermieden werden, ist eine zwischenzeitliche Nachbehandlung vor der Oberflächenbearbeitung durchzuführen.

Die Mindestdauer der Nachbehandlung richtet sich nach der Expositionsklasse, der Oberflächentemperatur und der Festig-

**Tafel 2: Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 [3] für alle Expositionsklassen außer X0, XC1 und XM**

Oberflächen- temperatur $\vartheta$ [°C] <sup>2)</sup>	Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen			
	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2}/f_{cm28}^{1)}$			
	schnell $r \geq 0,5$	mittel $r \geq 0,30$	langsam $r \geq 0,15$	sehr langsam <sup>3)</sup> $r < 0,15$
$\vartheta \geq 25$	1	2	2	3
$25 > \vartheta \geq 15$	1	2	4	5
$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7	10
$10 > \vartheta \geq 5$	3	6	10	15

<sup>1)</sup> Zwischenwerte dürfen eingeschaltet werden.

<sup>2)</sup> Anstelle der Oberflächentemperatur des Betons darf die morgendliche Lufttemperatur angesetzt werden.

<sup>3)</sup> Betone mit sehr langsamer Festigkeitsentwicklung sind in Deutschland nicht üblich.

**Tafel 3: Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 [3] für die Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 – Alternativverfahren in Abhängigkeit der Frischbetontemperatur**

Frischbetontemperatur $\vartheta_{fb}$ zum Einbaupunkt [°C]	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2}/f_{cm28}^{1)}$		
	schnell $r \geq 0,5$	mittel $r \geq 0,30$	langsam $r \geq 0,15$
$\vartheta \geq 15$	1	2	4
$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7
$10 > \vartheta \geq 5$	4	8	14

<sup>1)</sup> Zwischenwerte dürfen ermittelt werden.

keitsentwicklung des Betons. Die Festigkeitsentwicklung  $r$  wiederum hängt von der Betonzusammensetzung ab. Sie wird definiert durch das Verhältnis der Mittelwerte der Druckfestigkeit nach 2 Tagen ( $f_{cm2}$ ) und 28 Tagen ( $f_{cm28}$ ), ermittelt an im Labor gesondert hergestellten Probekörpern [8] bei der Erstprüfung oder an einem vergleichbaren Beton (gleicher Zement, gleicher Wasserzementwert). Die Festigkeitsentwicklung kann für Beton nach Eigenschaften und ggf. für Standardbeton dem Lieferschein des Transportbetons entnommen werden. Wird bei besonderen Anwendungen die Druckfestigkeit zu einem späteren Zeitpunkt als nach 28 Tagen bestimmt, ist zur Ermittlung des Wertes  $r$  statt  $f_{cm28}$  die mittlere Druckfestigkeit zum entsprechend späteren Zeitpunkt anzusetzen (z. B.  $f_{cm56}$ ).

Bei Umweltbedingungen, die den Expositionsklassen außer X0, XC1 und XM entsprechen, muss der Beton bis zum Erreichen von 50 % seiner charakteristischen Festigkeit im oberflächennahen Bereich nachbehandelt werden. Diese Forderung ist in Tafel 2 in Abhängigkeit von Festigkeitsentwicklung und Oberflächentemperatur des Betons in eine Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen umgesetzt. Wenn die Mindestdauer der Tafel 2 nicht eingehalten wird, ist ein spezieller Nachweis der tatsächlichen Festigkeitsentwicklung im Bauteil (z. B. durch eine Berechnung der Reife) erforderlich.

Anstelle der Werte nach Tafel 2 kann alternativ für die Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 die Ermittlung der Nachbehandlungsdauer über die Messung der *Frischbetontemperatur*  $\vartheta_{fb}$  zum Einbaupunkt und über die Festigkeitsentwicklung des Betons  $r$  erfolgen. Die hiernach erforderliche Nachbehandlungsdauer ist in Tafel 3 festgelegt. Bei Verwendung von Stahlschalung oder an ungeschalteten Oberflächen darf Tafel 3 nur angewendet werden, wenn ein übermäßiges

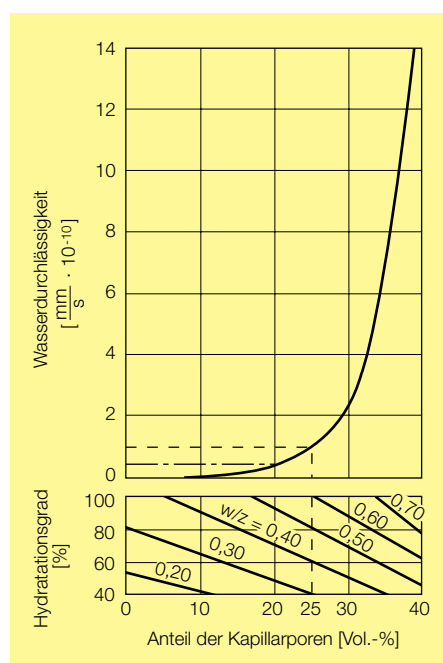
Auskühlen des Betons im Anfangsstadium der Erhärtung durch entsprechende Schutzmaßnahmen ausgeschlossen wird.

Ferner gilt für die Ermittlung der Mindestdauer der Nachbehandlung:

- für Beton mit einer Verarbeitbarkeitszeit  $> 5$  h: angemessene Verlängerung (mind. um die Verzögerungszeit)
- bei Temperatur der Betonoberfläche  $< 5$  °C: Verlängerung um die Zeitspanne mit Temperaturen unter 5 °C
- für die **Expositionsklassen XM**: bis zum Erreichen von 70 % seiner charakteristischen Festigkeit; ohne speziellen Nachweis sind die Werte nach Tafel 2 zu verdoppeln.
- für die **Expositionsklassen X0 und XC1**: 12 Stunden. Bei Fertigteilen darf diese Zeit unterschritten werden, wenn der Beton eine Reife aufweist, die sich unter Annahme einer konstanten Oberflächentemperatur von 20 °C und einer Nachbehandlungsdauer von 12 Stunden ergibt.

Bei Bauteilen mit besonders hoher Oberflächenbeanspruchung kann es ratsam sein, bei Auftragserteilung eine gegenüber Tafel 2 angemessen verlängerte Nachbehandlungsdauer zu vereinbaren, ähnlich der Praxis im Verkehrs- oder Wasserbau z. B. mit verdoppelter Anzahl der Nachbehandlungstage.

Wie wesentlich die Nachbehandlung für die Dichtigkeit des Betons bzw. Zementsteins ist, lässt sich aus Bild 2 ablesen. In dem Diagramm ist die Wasserdurchlässigkeit von Zementstein in Abhängigkeit vom Anteil der Kapillarporen im Zementstein aufgetragen und darunter der Zusammenhang zwischen Anteil der Kapillarporen, Wasserzementwert und Hydratationsgrad (der mit dem erreichten „Festigkeitsgrad“ einhergeht) dargestellt. Daraus ist einerseits abzulesen, dass bei vollständiger Hydratation Beton mit einem Wasserzementwert von 0,70 weitaus wasserdurchlässiger (und damit auch diffusionsoffener) ist, als mit einem von 0,50. Es geht weiter auch daraus hervor, dass Betone mit  $w/z$ -Werten von 0,40, 0,50 und 0,60 etwa die gleiche Durchlässigkeit aufweisen, wenn der Zement nur zu 60 %, 80 % bzw. 100 % hydratisiert ist. Da die Hydratation bzw. Festigkeitsentwicklung und Zunahme der Dichtigkeit der Betonoberfläche aber direkt von der Dauer des



*Bild 2: Wasserdurchlässigkeit von Zementstein in Abhängigkeit von der Kapillarporosität und vom Wasserzementwert (nach T.C. Powers) aus [4]*

Tafel 4: Arbeitsanweisung/Ausführungskontrolle zur Nachbehandlung von Beton

Zement-Merkblatt Betontechnik B 8 4.2014		Nachbehandlung von Beton Arbeitsanweisung/Ausführungskontrolle			Blatt Nr. ...	
Niederlassung/Werk <sup>1)</sup>				Bauwerk		
Baustelle <sup>1)</sup>				Bauteil		
				Bauleiter		
Anweisung <sup>2)</sup>						Kontrolle <sup>2)</sup>
<input type="checkbox"/> Nachbehandlungsdauer: ..... Tage Lufttemperatur: ..... °C, Frischbetontemperatur: ..... °C beim Betoneinbau						<input type="checkbox"/>
über 25°	10° bis 25°	5° bis 10°	-3° bis 5°	unter -3°	Lufttemperatur °C	Art der Nachbehandlung
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Benetzen (ohne Unterbrechung feuchthalten)	<input type="checkbox"/>
					Abdecken	<input type="checkbox"/>
					Nachbehandlungsfilm aufsprühen	<input type="checkbox"/>
					Abdecken bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen <i>und</i> benetzen	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>		Abdecken bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen <i>und</i> Wärmedämmung	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	Abdecken <i>und</i> Wärmedämmung Beheizen <sup>1)</sup> /Arbeitsplatz umschließen <sup>1)</sup>	<input type="checkbox"/>
über 25°			unter 5°	unter -3°	Lufttemperatur °C	Zusätzliche Maßnahmen
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		Stahlschalung vor Sonneneinstrahlung schützen <sup>1)/</sup> Holzschalung nassen <sup>1)</sup>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>		Beton mindestens sieben Tage lang vor Niederschlägen schützen	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>		Ausschalfristen um Anzahl der Tage unter 5 °C verlängern	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	Betontemperatur wenigstens drei Tage lang auf 10 °C halten	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Schutzmaßnahmen gegen starke Niederschläge am frischen und jungen Beton ..... ..... vorhalten						<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Benetzen: Rasensprenger <sup>1)/</sup> perforierter Schlauch <sup>1)/</sup> .....						<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Abdeckmaterial: Kunststoffolie <sup>1)/</sup> Wärmedämmplatten <sup>1)/</sup> Dämmmatten <sup>1)</sup> .....						<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Zwischenraum zwischen Folie und abgedeckter Fläche .....cm Zugluft im Zwischenraum (Windkanal) durch Abdichten vermeiden						<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kontrollieren, ob die Nachbehandlungsmittel den technischen Lieferbedingungen entsprechen (Typenmerkblatt)						<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Aufsprühen auf mattfeuchte Fläche <sup>1)/</sup> direkt nach dem Ausschalen <sup>1)</sup>						<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kontrollieren, ob überall ein geschlossener Film entstanden ist						<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bei zusätzlichen Fragen bitte Rücksprache mit .....						<input type="checkbox"/>
<sup>1)</sup> Nichtzutreffendes streichen <sup>2)</sup> Zutreffendes ankreuzen ..... (Ort) (Tag) (Unterschrift)						



ausreichenden Wasserangebots an den Zement abhängt, wird deutlich, wie ausschlaggebend die Nachbehandlung für die Qualität und Dauerhaftigkeit von Betonoberflächen ist.

#### ■ 4 Hinweise zur Nachbehandlung von Sichtbeton

Trotz der zuvor dargestellten eindeutigen Regelungen ist die Nachbehandlung von Bauteilen mit Sichtbetonflächen im Einzelfall schwierig. Nachbehandlungsmaßnahmen wirken naturgemäß über die Bauteilflächen. Sie sollten so ausgewählt werden, dass sie keine unerwünschten Auswirkungen auf das Erscheinungsbild haben.

An üblichen Innenbauteilen sind die Probleme meist gering, da solche Bauteile nur einen halben Tag (zwölf Stunden) Nachbehandlung erfordern, was durch Abdecken und Belassen in der Schalung erreicht wird.

Schwieriger ist die Nachbehandlung von Bauteilen mit Sichtbetonflächen, die frei bewittert sind. Hier gelten üblicherweise die Expositionsclassen XC4 und XF1, was eine Mindestdauer der Nachbehandlung nach Tafel 2 bzw. Tafel 3 erfordert. Dennoch bedarf die Nachbehandlung von Sichtbetonbauteilen auch für wenige Tage eine sachgerechte Planung und sorgfältige Durchführung.

Da an jungen Sichtbetonflächen jeglicher Kontakt mit flüssigem Wasser (auch Niederschlagswasser) unbedingt zu vermeiden ist, kommt nur ein Verdunstungsschutz als Nachbehandlung in Frage, üblicherweise durch Einpacken oder Einhausen in PE-Folie. Da herablaufendes Schwitzwasser (Kondensat) auf das Flächenbild die gleiche störende Wirkung haben kann wie etwa weiches Niederschlagswasser, sollte ein geringer Luftaustausch mit der Umgebung erhalten bleiben, um übermäßige Kondensatbildung zu vermeiden. Aus dem gleichen Grund darf die Folie nicht direkt an der Sichtbetonfläche anliegen, sondern ist mit einigen Zentimetern Abstand zur Bauteiloberfläche anzubringen. Um diese Abstände abzusichern, werden oft zunächst Hilfskonstruktionen aus Resthölzern an das Betonteil gebaut, die aber ihrerseits bei direktem Kontakt mit Sichtbetonflächen Verfärbungen und Flächenabweichungen erzeugen können. Des-

halb sollten Abstand haltende Hilfskonstruktionen entweder aus Kunststoffteilen bestehen oder an den Kontaktpunkten mit Sichtbetonflächen auf PE-Folie aufsetzen. Obwohl ein eingeschränkter Luftaustausch gewünscht ist, sollte Zugluft möglichst nicht auftreten, da sie die Austrocknung der Betonrandzone fördert [9].

Einhausungen aus PE-Folie sind empfindlich gegen Einflüsse des laufenden Baubetriebs und gegen Witterungseinflüsse wie Wind oder Starkniederschläge. Sie sind deshalb regelmäßig zu prüfen und instand zu halten.

#### ■ Literatur

- [1] DIN EN 206-1: Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [2] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [3] DIN EN 13670: Ausführung von Tragwerken aus Beton; in Verbindung mit DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670
- [4] Zement-Taschenbuch. 51. Ausgabe 2008, Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg.), Verlag Bau+Technik, Düsseldorf
- [5] DIN 18331: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonarbeiten
- [6] Erläuterung zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN EN 12620 – Heft 526, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin
- [7] TL NBM-StB: Technische Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Köln (Hrsg.)
- [8] DIN EN 12390-3: Prüfung von Festbeton, Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- [9] Peck, Bose, Bosold: Technik des Sichtbetons – Praktische Hinweise zur Planung und Ausführung glatter Sichtbetonflächen, 2007, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf

#### Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

<b>Regionale Ansprechpartner</b>	<a href="http://www.beton.org">www.beton.org</a>
<b>BetonMarketing Nordost GmbH</b> Anderter Str. 99D, 30559 Hannover, Tel.: 0511 554707-0, hannover@betonmarketing.de Teltower Damm 155, 14167 Berlin, Tel.: 030 3087778-0, berlin@betonmarketing.de	
<b>BetonMarketing Süd GmbH</b> Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, info@betonmarketingsued.de Büro München: Beethovenstraße 8, 80336 München, Tel.: 089 450984-0, info@betonmarketingsued.de	
<b>BetonMarketing West GmbH</b> Neustraße 1, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, info@bmwest.de	
<b>Herausgeber: Verein Deutscher Zementwerke e.V.</b> , Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf	<a href="http://www.vdz-online.de">www.vdz-online.de</a>
<b>Verfasser:</b> Dipl.-Ing. Roland Pickhardt, BetonMarketing West; Dipl.-Ing. Wolfgang Schäfer, BetonMarketing Nordost	