

Wirkungsweise chemischer Nachbehandlungsmittel

Oliver Blask

Zusammenfassung

Die Nachbehandlung von Beton mit flüssigen (chemischen) Nachbehandlungsmitteln stellt in vielen Fällen eine Alternative zu klassischen Nachbehandlungsarten, wie das Abdecken mit Folie oder das Auflegen von wasserspeichernden Abdeckungen, dar. Hierzu kommen Nachbehandlungsmittel unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung zum Einsatz, die alle nach dem Auftragen einen Film bilden, der die Wasserabgabe des Betons reduziert. Je nach Anwendungsgebiet werden unterschiedliche Nachbehandlungsmittel eingesetzt; im Betonstraßenbau sind Nachbehandlungsmittel auf der Basis von Paraffinwachsemulsionen am verbreitetsten, wogegen bei Estrichen und Industrieböden häufiger Polymerdispersionen eingesetzt werden. Bei allen Nachbehandlungsmitteln ist die richtige Applikation entscheidend für eine wirksame Nachbehandlung, insbesondere der optimale Auftragszeitpunkt spielt dabei eine entscheidende Rolle. Dieser Artikel erläutert die verschiedenen Arten von Nachbehandlungsmitteln, ihre Wirkungsweise sowie Einflüsse auf diese.

1 Einleitung – Ziele chemischer Nachbehandlungsmittel

Die Nachbehandlung von Beton ist notwendig, um eine vollständige Hydratation des Zements zu gewährleisten. Dies trifft in besonderem Maße auf horizontale Betonflächen wie z. B. Betonfahrbahndecken oder Industrieböden aus Beton zu. Ihnen fehlt zum einen im Vergleich zu Bauteilen im Hochbau der anfängliche Verdunstungsschutz durch die Schalung, zum anderen ist gerade die Oberfläche, an der die Verdunstung stattfindet, später häufig den stärksten Beanspruchungen ausgesetzt. Neben der Nachbehandlung durch das Abdecken mit dampfdichten Folien, dem Auflegen von wasserspeichernden Abdeckungen und dem Aufrechterhalten eines sichtbaren Wasserfilms kommen bereits seit den 50er Jahren chemische Nachbehandlungsmittel zum Einsatz.

Der Zweck chemischer Nachbehandlungsmittel, wie auch der übrigen Nachbehandlungsmethoden, ist dafür zu sorgen, dass ausreichend Wasser für eine vollständige Hydratation zur Verfügung steht. Dies geschieht, indem ein Verdunstungsschutz erzielt und der vorzeitige Wasserverlust reduziert wird. Einige neue Methoden der Nachbehandlung [1] erzielen durch wasserspeichernde Materialien eine innere Nachbehandlung des Betons. Sie werden hauptsächlich zur inneren Nachbehandlung ultrahochfester Betone eingesetzt. Die Wirksamkeit dieser Methoden auf die Oberflächenqualität von Normalbeton hängt davon ab, wie schnell Wasser aus den Depots an die Oberfläche transportiert wird, an der die Verdunstung stattfindet. In diesem Artikel behandeln wir ausschließlich die externen Methoden der chemischen Nachbehandlung.

2 Welche Arten chemischer Nachbehandlungsmittel gibt es?

Bei den zurzeit kommerziell angebotenen chemischen Nachbehandlungsmitteln handelt es sich um flüssig applizierte Nachbehandlungsmittel, die nach dem Verdunsten der flüssigen Phase bei gleichmäßiger Applikation einen Film bilden, der die Verdunstung von Wasser vermindert. Wegen der flüssigen Applikation spricht man im Allgemeinen einfach von flüssigen Nachbehandlungsmitteln. Bei der Lieferform unterscheidet man lösemittelhaltige und wässrige Mittel, wobei die lösemittelhaltigen Produkte wegen ihrer schädlichen Einflüsse auf Mensch und Umwelt auf dem deutschen Markt nur noch eine geringe Bedeutung besitzen. Einige Nachbehandlungsmittel enthalten zusätzlich Pigmente, die das Sonnenlicht reflektieren und so ein

Aufheizen des Betons reduzieren. Diese pigmentierten Nachbehandlungsmittel sind nicht zu verwechseln mit eingefärbten Nachbehandlungsmitteln, die es dem Verarbeiter lediglich erleichtern zu erkennen, wo bereits Nachbehandlungsmittel appliziert wurde. Eine erste Einteilung flüssiger Nachbehandlungsmittel kann auf Basis ihrer chemischen Zusammensetzung getroffen werden.

2.1 Zusammensetzung flüssiger Nachbehandlungsmittel

2.1.1 Kunstharze (Epoxidharz)

Kunstharze zählen üblicherweise zu Beschichtungsstoffen, werden jedoch in Ausnahmefällen auch zur Nachbehandlung eingesetzt. Hierbei ist zu beachten, dass die Kunstharze eine Trennlage bilden, was bei einem weiteren Belag zu berücksichtigen ist.

2.1.2 Polymerdispersionen

Im Bereich der Estriche und Industrieböden aus Beton werden häufig Polymerdispersionen auf Basis unterschiedlicher Polymere und Copolymere eingesetzt. Zu den verbreitetsten Polymerdispersionen zählen zurzeit:

- Acrylat Dispersionen
- Styrol-Acrylat-Copolymerisat Dispersionen
- Vinylacetat-Ethylen-Copolymerisat Dispersionen
- Styrol-Butadien-Copolymerisat Dispersionen

Zu den Vorteilen dieser Polymerdispersionen zählt ihre höhere Verträglichkeit mit weiteren Belägen. Da auch Polymerdispersionen eine Trennlage bilden, empfehlen die Hersteller in der Regel sie einzuscheiben, bevor eine weitere Schicht aufgebracht wird, falls sie als Zwischennachbehandlung eingesetzt werden. In Vergleich zu den im Folgenden aufgeführten Paraffinwachsemlulsionen erzielen die Polymerdispersionen einen geringeren Verdunstungsschutz. Die Herstellerangaben schwanken für verschiedene Produkte zwischen Sperrkoeffizienten (nach [2]) von 20 % bis 60 % bei üblichen Auftragsmengen von 100 bis 300 g/m², während Paraffinwachsemlulsionen bei gleichen Auftragsmengen üblicherweise Werte von 85 % und darüber erreichen.

2.1.3 Paraffinwachse

Insbesondere im Bereich des Betonstraßenbaus werden flüssige Nachbehandlungsmittel auf Paraffinbasis eingesetzt. Bei diesen Nachbehandlungsmitteln wird Paraffinwachs fein im Dispersionsmittel Wasser dispergiert. Hierzu wird das geschmolzene Wachs bei hohen Scherraten in hochtourigen Mischern dispergiert und anschließend abgekühlt. Emulgatoren reduzieren die Oberflächenenergie der Partikel und sorgen dafür, dass die dispergierten Partikel nicht koagulieren. Bei den Paraffinwachsen handelt es sich dabei meist um niedrig schmelzende Wachse mit Schmelzpunkten zwischen 40 und 60 °C. Die Partikelgröße der Wachsemlulsionen wird bei der Herstellung durch die verwendeten Emulgatoren sowie die Prozessparameter gesteuert und liegt typischerweise unter 1 µm. Bei den Wachsemlulsionen unterscheidet man zwischen den anionisch und den kationisch stabilisierten Emulsionen. Diese beiden Typen unterscheiden sich aufgrund der verwendeten Emulgatoren in der Eignung für verschiedene Anwendungsbereiche.

Neben Wachsen können die Wachsemlulsionen zusätzlich Pigmente enthalten. Als Pigment wird bei diesen Wachsemlulsionen aufgrund seines hohen Brechungsindex häufig Titandioxid eingesetzt.

Zu den Vorteilen von Wachsemlulsionen zählt ihre sehr hohe Reduktion der Wasserdampfdiffusion, die Sperrkoeffizienten (geprüft nach TL NBM-StB 09) von nahezu 100 % ermöglicht.

2.2 Einteilungen nach Regelwerken

Für flüssige Nachbehandlungsmittel für Beton gibt es verschiedene nationale und internationale Normen bzw. Regelwerke, jedoch zurzeit keine harmonisierte europäische Norm und damit kein CE-Zeichen.

In Deutschland ist das zurzeit wichtigste Regelwerk die TL NBM-StB 09 der Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Weltweit von größerer Bedeutung sind die ASTM C309-19 [3] und ASTM C1315-19 [4] der American Society for Testing and Materials.

2.2.1 Anforderungen an flüssige Nachbehandlungsmittel nach TL NBM-StB 09

Die TL NBM-StB 09 regelt die Anforderungen an flüssige Nachbehandlungsmittel besonders für den Betonstraßenbau. Die TL NBM-StB kann jedoch auch zur Beurteilung von flüssigen Nachbehandlungsmitteln für andere Anwendungsgebiete herangezogen werden. Die TL NBM-StB 09 unterscheidet grundsätzlich drei Anwendungsbereiche für befahrene und nicht befahrene Betonbauteile:

- Beton für Verkehrsflächen (Straßenbeton mit Griffigkeitsanforderungen an die Oberfläche)
- Beton für Verkehrsflächen (Straßenbeton ohne Griffigkeitsanforderungen an die Oberfläche)
- Allgemeiner Betonbau (Beton für nicht befahrene Bauteile ohne Griffigkeitsanforderungen)

Daneben unterscheidet die TL NBM-StB 09 die Nachbehandlungsmittel nach dem Zeitpunkt des Aufbringens zwischen sofort, mattfeucht und nach dem Entschalen. Die Einteilung der Nachbehandlungsmittel nach TL NBM-StB 09 ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Einteilung der Nachbehandlungsmittel nach TL NBM-StB 09

Anwendungsbereich		Zeitpunkt des Aufbringens		
		sofort H	mattfeucht M	nach Entschalen E
Beton für Verkehrsflächen (Straßenbeton mit Griffigkeitsanforderung an die Oberfläche)	V	VH	VM	-
Beton für Verkehrsflächen (Straßenbeton ohne Griffigkeitsanforderung an die Oberfläche)	A	AH	-	-
Allgemeiner Betonbau (Beton für nicht befahrene Bauteile ohne Griffigkeitsanforderungen)	B	BH	BM	BE

Neben den in Tabelle 1 genannten Mitteln enthält die TL NBM-StB 09 noch Nachbehandlungsmittel mit besonderen Eigenschaften wie erhöhter Hellbezugswert (W) und kurzfristige Verkehrsfreigabe (K). Diese Nachbehandlungsmittel haben zusätzlich weitere Anforderungen zu erfüllen.

Die Anforderungen an flüssige Nachbehandlungsmittel unterscheiden sich in allgemeine Anforderungen, die für alle flüssigen Nachbehandlungsmittel im flüssigen Zustand gelten, wie Versprühbarkeit, Flammpunkt, Lagerstabilität und Zusammensetzung sowie typenspezifische Anforderungen, die an den Nachbehandlungsfilm gestellt werden, wie Sperrwirkung, Griffigkeit, Trocknungszeit, Verwitterungsverhalten und Hellbezugswert. Die typenspezifischen Anforderungen sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tab. 2: Typenspezifische Eigenschaften des Nachbehandlungsfilms nach TL NBM-StB 09

Eigenschaft	Kennwert	Prüfverfahren	Anforderung
Sperrwirkung	Sperrkoeffizient [%]	TL NBM-StB 09 4.2.4	Typ VH, BH: ≥ 85 %
			Typ AH: ≥ 75 %
			Typ VM, BM: ≥ 85 %
			Typ BE: keine Anforderung
Griffigkeit	SRT-Wert	TL NBM-StB 09 4.2.5 TP Griff-StB	Typ VH, VM: ≥ 50 Skalenteile
			Typ VH-K, VM-K: ≥ 60 Skalenteile
Trocknungszeit	Zeit [h]	TL NBM-StB 09 4.2.6	≤ 5 h
Verwitterungsverhalten	SRT-Wert nach Bewitterung	TL NBM-StB 09 4.2.7 TP Griff-StB	Typ VH, VM: Nach Bewitterung muss ein SRT-Wert ≥ 60 Skalenteile erreicht sein.
Hellbezugswert	Hellbezugswert W [%]		Typ VH-W, VM-W: W ≥ 60 %

Wichtigste Eigenschaft ist der Sperrkoeffizient S_n . Er gibt an, um wie viel Prozent die Wasserabgabe der behandelten Proben in Vergleich zu den unbehandelten Proben verringert ist. Da man zur Prüfung des Nachbehandlungsfilms eine Betonoberfläche benötigt und das Ergebnis sowohl von der Verdunstungsrate als auch von der Betonzusammensetzung abhängt, wird die Prüfung an einem definierten Prüfbeton in einer Klimakammer mit 30 ± 2 °C und 40 % r. F. sowie gleichmäßiger Verdunstungsrate durchgeführt.

Zur Prüfung wird abhängig vom zu prüfenden Nachbehandlungsmittel die Betonoberfläche einer Bearbeitung unterzogen (z. B. Besenstrich bzw. Glätten) und zu einem definierten Zeitpunkt das Nachbehandlungsmittel auf einen Teil der Prüfkörper aufgebracht. Die übrigen Prüfkörper werden nicht behandelt. Nach der vorgegebenen Zeit (24 h bei den Typen H und M bzw. 7 Tage bei Typ E) wird der Masseverlust infolge Verdunstung des Anmachwassers bestimmt. Der Masseverlust durch Verdunstung des Wasseranteils des reinen Nachbehandlungsmittels muss getrennt ermittelt werden und wird vom Masseverlust der behandelten Prüfkörper abgezogen. Mit den so ermittelten Daten kann der Sperrkoeffizient (Gleichung 1) berechnet werden:

$$S_n = \frac{W_u - W_b}{W_u} \cdot 100 \% \quad (1)$$

mit: S_n = Sperrkoeffizient im Alter n
 W_u = Wasserabgabe der unbehandelten Prüfkörper
 W_b = Wasserabgabe der behandelten Prüfkörper

Die Griffigkeit ist ein Maß für die Rauigkeit der Betonoberfläche. Der SRT-Wert wird nach 28 Tagen mit dem Pendelgerät nach [5] ermittelt, je höher der SRT-Wert, desto höher ist die Griffigkeit der Betonoberfläche.

Die Trocknungszeit stellt den Zeitraum zwischen dem Auftrag des Nachbehandlungsmittels und dem Zeitpunkt dar, an dem es bei 20 °C und 65 % r. F. soweit abgetrocknet ist, dass es nicht mehr klebt.

Das Verwitterungsverhalten wird ermittelt, indem die behandelten Prüfkörper nach einer Vorlagerung von 28 Tagen einer künstlichen Bewitterung nach DIN EN ISO 4892-2 [6] (Verfahren A, Beanspruchungszyklus 2) unterzogen werden. Danach wird die Griffigkeit mit dem Pendelgerät [5] ermittelt.

Der Hellbezugswert findet Anwendung bei pigmentierten Nachbehandlungsmitteln und wird nach 24 h als Weißwert gegen den Weißstandard WS DIN 5033 bestimmt.

2.2.2 Anforderungen an flüssige Nachbehandlungsmittel nach ASTM C309-19 und C1315-19

Die ASTM regelt die Anforderungen an flüssige filmbildende Nachbehandlungsmittel für Beton. Sie findet außer auf dem amerikanischen Kontinent häufig in Asien Anwendung.

Die ASTM C309-19 unterscheidet drei Typen flüssiger Nachbehandlungsmittel anhand ihres Erscheinungsbilds und der chemischen Zusammensetzung der filmbildenden Stoffe. Weiter definiert sie Anforderungen an die Verarbeitbarkeit, die Zusammensetzung, die Lagerstabilität, den Wasserverlust, den Reflexionsgrad und die Trocknungszeit.

Tab. 3: Einteilung der Nachbehandlungsmittel nach ASTM C309-19

Type/Class nach ASTM C309-19	Eigenschaft / Anforderung
Type 1	Klar oder durchscheinend ohne Farbstoff
Type 1-D	Klar oder durchscheinend mit flüchtigem Farbstoff
Type 2	Weiß pigmentiert
Zuordnung der gelösten / dispergierten Feststoffe zu Klassen	
Class A	keine Anforderungen
Class B	Kunstharze nach ASTM D883

Flüssige Nachbehandlungsmittel mit besonderen Eigenschaften sind zusätzlich geregelt durch ASTM C1315-19. Sie erweitert ASTM C309-19 durch zusätzliche Anforderungen und erhöht einige Anforderungen.

Tab. 4: Zusätzliche Anforderungen von ASTM C1315-19 an flüssige Nachbehandlungsmittel mit besonderen Eigenschaften

Anforderung	Testmethode	ASTM C309-19	ASTM C1315-19
Feststoffgehalt	ASTM D2369 [7]	keine Anforderung	≥ 25 M.-%
Wasserverlust	ASTM C156 [8]	0,55 kg/m ²	0,40 kg/m ²
Reflexionsgrad	ASTM E1347 [9]	60 %	65 %
UV Beständigkeit	ASTM C1315 9.7.6	keine Anforderung	Class A: keine Gelbverfärbung Class B: geringe Gelbverfärbung Class C: keine Anforderung
Alkalibeständigkeit	ASTM C1315 9.7.7	keine	Keine Auflösungen, Verfärbungen
Verbund	ASTM C1315 9.8	keine	> 0,50 MPa

3 Wirkungsweise flüssiger Nachbehandlungsmittel

Wässrige flüssige Nachbehandlungsmittel sind Emulsionen oder Dispersionen von Paraffinwachsen oder Polymeren in Wasser. Aufgrund der Lichtbrechung der Partikel erscheinen sie im flüssigen Zustand meist milchig-weiß. Nach dem richtigen Auftragen auf die Betonoberfläche bilden die Nachbehandlungsmittel einen geschlossenen Film, der die Wasserabgabe des Betons reduziert. Die Filmbildung verläuft vermutlich ähnlich zur Filmbildung von Latex in mehreren Schritten [10, 11, 12].

3.1 Bildung des Nachbehandlungsfilms

Die Filmbildung ist der kritische Aspekt der flüssigen Nachbehandlungsmittel; ist die Filmbildung gestört, kommt es zu einem inhomogenen Nachbehandlungsfilm mit einer geringeren Sperrwirkung. In einem einfachen Modell (vgl. Abbildung 1) läuft die Filmbildung in drei Schritten ab. In Phase 1 besteht das Nachbehandlungsmittel noch aus einer homogenen Emulsion aus diskreten Partikeln mit einem Feststoffgehalt zwischen 5 und 50 Vol.-%. Durch die Verdunstung des freien Wassers in Schritt 1 kommt es zu einer Erhöhung der Konzentration der Wachspartikel. Dies führt zu Phase 2 mit einer dichten Packung der Wachspartikel mit Wasser in den Zwischenräumen. Durch die Verdunstung des Wassers in den Zwischenräumen in Schritt 2 kommt es zu einer Deformation der Wachspartikel und zu einer weiteren Zunahme der Packungsdichte. In Phase 3 liegen die Partikel in einer dichten Matrix mit Grenzen zwischen den Partikeln vor. In Schritt 3 kommt es durch Diffusion einzelner Polymerketten durch die Partikelgrenzen zu einem Verschmelzen der Partikel und zur Bildung eines homogenen Films in Phase 4.

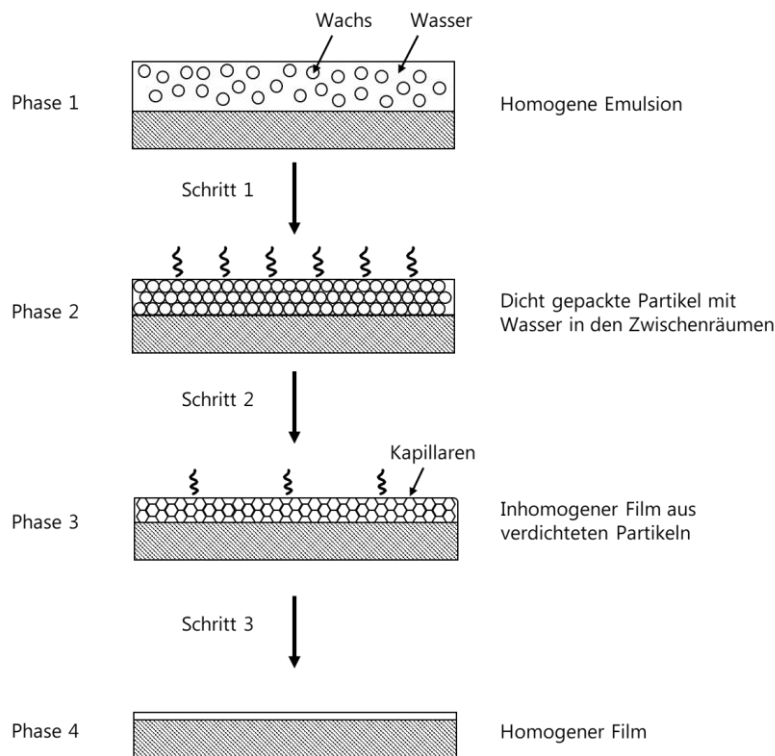


Abb. 1: Schematische Darstellung der vier Phasen der Filmbildung

Die Mechanismen der Verdichtung in Schritt 2 beruhen nach Brown und Sheetz [13, 14] auf Kontraktionskräften, die durch Verdunstung des Kapillarwassers in den Zwischenräumen entstehen (vgl. Abbildung 2).

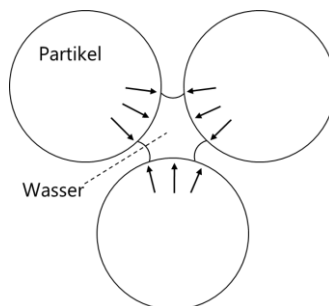


Abb. 2: Anziehungskräfte aufgrund der Kapillarkräfte des verdunstenden Wassers in den Zwischenräumen nach [13]

3.2 Einflüsse auf die Wirksamkeit des Nachbehandlungsfilms

Die Effektivität flüssiger Nachbehandlungsmittel hängt zum einen von der Zusammensetzung des Nachbehandlungsmittels und zum anderen von der korrekten Anwendung ab. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle.

3.2.1 Zusammensetzung des Nachbehandlungsmittels

Bei der Zusammensetzung des Nachbehandlungsmittels ist zunächst der Feststoffgehalt bzw. die Auftragsmenge und die Art des verwendeten Wachses bzw. Polymers zu nennen. Bei Wachsemulsionen haben sich im deutschen Markt Feststoffgehalte zwischen etwa 10 und 25 M.-% etabliert, die bei Auftragsmengen um 150 g/m^2 wirksame Nachbehandlungsfilme ergeben. Bei Polymerdispersionen liegen die üblichen Feststoffgehalte oft deutlich höher, was an dem anfangs erwähnten geringeren Verdunstungsschutz der Polymerdispersionen liegt. Bei der Anwendung als Zwischennachbehandlung kommen niedrige Feststoffgehalte zum Einsatz, was durch einen notwendigen Kompromiss zwischen Verdunstungsschutz und Verbund bedingt ist. Bei den Wachsemulsionen bilden weichere Wachse wirksamere Nachbehandlungsfilme. Dies lässt sich leicht mit dem Modell der Filmbildung erklären, so erfolgt die Verdichtung des Nachbehandlungsfilms in Schritt 3 (vgl. Abbildung 1) umso leichter, je weicher die Partikel sind.

Neben der Zusammensetzung spielt auch die Herstellung und die Stabilisierung der fertigen Emulsionen eine Rolle. Bei der Herstellung von Wachsemulsionen stabilisieren Emulgatoren die dispergierten Partikel und sorgen dafür, dass sie nicht koagulieren (vgl. Abschnitt 2.1.3). Dabei muss ein Kompromiss zwischen der Wirksamkeit und der Lagerstabilität des Nachbehandlungsmittels eingegangen werden. Denn mit mehr Emulgator verbessert sich die Lagerstabilität der Wachsemulsion, andererseits stören die Emulgatoren die Filmbildung der Nachbehandlungsmittel. Enthält eine Emulsion zu viel oder den falschen Emulgator, koaguliert (bricht) sie nicht sofort bei Kontakt mit der alkalischen Betonoberfläche. Bei rauen Oberflächen, wie sie beispielsweise durch den Besenstrich bei Betonfahrbahnen entstehen, bildet sich kein durchgängiger Film (siehe Abbildung 3) und der Beton verliert weiter Feuchtigkeit [15]. Moderne Rotor-Stator- oder Hochdruck-Homogenisatoren sind jedoch in der Lage feinverteilte Emulsionen zu erzeugen, die mit wenig Emulgator feinverteilte Emulsionen mit enger Partikelgrößenverteilung erzeugen.

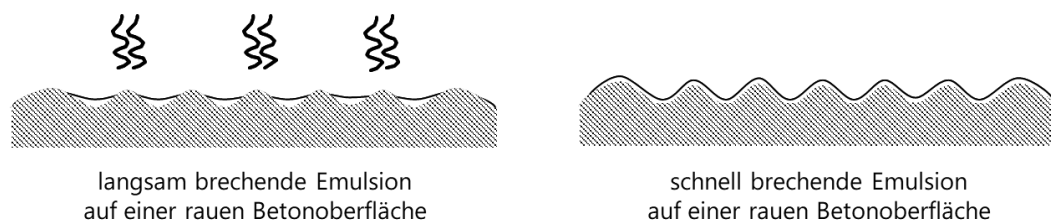


Abb. 3: Schematische Darstellung des Verhaltens verschiedener Emulsionen nach dem Auftragen auf eine raue Betonoberfläche.

3.2.2 Applikation des Nachbehandlungsmittels

Neben der Zusammensetzung spielt für die Wirksamkeit von flüssigen Nachbehandlungsmitteln ihre richtige Applikation eine entscheidende Rolle. Zur Applikation von flüssigen Nachbehandlungsmitteln existieren verschiedene Verfahren, die je nach Anwendungsgebiet variieren [18].

Die im Betonstraßenbau wohl am weitesten verbreitete Methode der Applikation ist das Aufsprühen des Nachbehandlungsmittels durch einen Sprühbalken an der Nachlaufbühne eines Gleitschalungsfertigers. Die Nachlaufbühne folgt dabei mit so viel Verzögerung, dass der Auftrag auf die mattfeuchte Oberfläche erfolgt.

Bei sonstigen großen horizontalen Flächen kann das Nachbehandlungsgerät mit motorbetriebenen Sprühgeräten aufgetragen werden. Bei kleineren oder vertikalen Betonoberflächen wird häufig ein Drucksprühgerät benutzt. Eine Applikation mit Rolle oder Pinsel ist zwar möglich, in der Praxis jedoch weniger üblich. Um einen größtmöglichen Verdunstungsschutz zu erreichen, sind bei allen Applikationsverfahren folgende Punkte wichtig:

Die volle Wirkung des Nachbehandlungsmittels kann nur bei einem vollständig geschlossenen Film erreicht werden. Hierzu sollte das Nachbehandlungsmittel als feiner Nebel gleichmäßig deckend auf die Oberfläche aufgesprüht werden. Da der frische Nachbehandlungsfilm oft weiß erscheint, sind Fehlstellen, z. B. durch verstopfte Düsen, beim frischen Film noch zu erkennen.

Grundsätzlich sollten Nachbehandlungsmittel zwar möglichst früh aufgetragen werden, um die Verdunstung des Wassers möglichst früh zu vermeiden. Wie neuere Forschungsergebnisse [16] jedoch zeigen, hat bei der Prüfung von Nachbehandlungsmitteln der Auftragszeitpunkt auf die Prüfoberfläche einen entscheidenden Einfluss auf den ermittelten Sperrkoeffizienten und es gibt einen optimalen Auftragszeitpunkt. Der Grund hierfür liegt in dem Einfluss der feuchten Betonoberfläche auf die Filmbildung. Erfolgt der Auftrag früh auf eine noch sehr feuchte Betonoberfläche, dauert die Filmbildung sehr lange und das Nachbehandlungsmittel kann nicht optimal verfilmen. Erfolgt der Auftrag dagegen zu spät, bildet sich zwar ein dichter Nachbehandlungsfilm, es ist zu dieser Zeit jedoch schon viel Wasser verdunstet. Der optimale Zeitpunkt für den Auftrag ist die sogenannte mattfeuchte Oberfläche. Dieser Zeitpunkt ist schwer zu quantifizieren, da das Erscheinungsbild der Oberfläche oft sehr subjektiv wahrgenommen wird. In einem Forschungsprojekt der TU München [17] wurde zumindest für das Labor ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die mattfeuchte Oberfläche mit Hilfe eines Indikatorpapiers abschätzen lässt.

4 Schlussfolgerung

Flüssige Nachbehandlungsmittel können in vielen Fällen Nachbehandlungsmethoden wie das Abdecken mit Folie oder das Auflegen wasserspeichernder Matten ersetzen. Um einen größtmöglichen Verdunstungsschutz zu erzielen, ist jedoch eine fachgerechte Applikation des Nachbehandlungsmittels erforderlich. Hierbei kommt dem Auftragszeitpunkt eine besondere Bedeutung zu.

5 Literatur

- [1] Mechtcherine, V. et al. (2014) Effect of internal curing by using superabsorbent polymers (SAP) on autogenous shrinkage and other properties of a high-performance fine-grained concrete: results of a RILEM round-robin test, *Materials and Structures*, Vol. 47, 541-562
- [2] TL NBM-StB 09 „Technische Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel“, Ausgabe 2009, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Köln
- [3] ASTM C309-19 „Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete“, 2019, ASTM International
- [4] ASTM C1315-19 „Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete1“, 2019, ASTM International
- [5] TP Griff-StB „Technische Prüfvorschriften für Griffmessungen im Straßenbau: Seitenkraftmessverfahren (SKM)“, Ausgabe 2007, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Köln
- [6] DIN EN ISO 4892-2:2013-06, Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 2: Xenonbogenlampen (ISO 4892-2:2013); Deutsche Fassung EN ISO 4892-2:2013
- [7] ASTM D2369-20 „Standard Test Method for Volatile Content of Coatings“, 2020, ASTM International

- [8] ASTM C156-17 „Standard Test Method for Water Loss [from a Mortar Specimen] Through Liquid Membrane-Forming Curing Compounds for Concrete“, 2017, ASTM International
- [9] ASTM E1347-20 „Standard Test Method for Color and Color-Difference Measurement by Tristimulus Colorimetry“, 2020, ASTM International
- [10] Boczar, E. M., Dionne, B. C., Fu, Z., Kirk, A. B., Lesko, P.M., Koller, A. D. (1993) *Macromolecules*, Vol. 26, 5772-5781
- [11] Wang, Y. Winnik, M. A. (1992) Polymer Diffusion across Interfaces in Latex Films, *J. Phys. Chem.*, Vol. 97, 2507-2515
- [12] Keddie, J. L., Meredith P., Jones R. A. L., Donald A. M. (1995) Kinetics of Film Formation in Acrylic Latices Studied with Multiple-Angle-of-Incidence Ellipsometry and Environmental SEM, *Macromolecules*, Vol. 28, 2673-2682
- [13] Brown, G. L. (1956) Formation of Films from Polymer Dispersions, *Journal of Polymer Science*, Vol. 12, 423-434
- [14] Sheetz, D. P. (1965) Formation of Films by Drying of Latex, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 9, 3759-3773
- [15] D. Honert, O. Blask, H. Knauber (2003) Nachbehandlung von Beton zur Verringerung des Wasserverlustes und zur Reduzierung von Ausblühungen, Tagungsbericht der 15. internationalen Baustofftagung – Ibausil, Weimar, 2/1281- 2/1290
- [16] A. Frentzel-Schirmacher, J. Stark (2006) Prüfung von Nachbehandlungsmitteln für den Betonstraßenbau, In *Zeitschrift Straße und Autobahn*, 2006, Nr. 5, S 301-310
- [17] P. Schießl, J. Huber (2006) „Nachweisverfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Nachbehandlungsmitteln (NBM)“, Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 08.166/2001/LGB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Band 938; 2006; *Wirtschaftsverlag N. W. Verlag für neue Wissenschafts-Verlag*, Bremerhaven
- [18] Informationsschrift *Beton-Nachbehandlungsmittel*, Ausgabe März 2018, Deutsche Bauchemie e. V., Frankfurt am Main

6 Autor

Dr. rer. nat. Oliver Blask

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Gotthard-Franz-Straße 3
76131 Karlsruhe