

Einfluss der Nachbehandlung auf den Frost-Tausalz-Widerstand von Waschbetonfahrbahndecken

Dipl.-Ing. Jens Skarabis, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen, Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der TU München

Einleitung

Beim Bau von Betonfahrbahndecken wird in Deutschland seit einigen Jahren bevorzugt Waschbeton als Oberbeton eingesetzt. Zur Sicherstellung einer hohen Dauerhaftigkeit gegenüber den Einwirkungen aus Verkehr und Umwelt ist die Nachbehandlung der Betonfahrbahndecken von besonderer Bedeutung. Bei Waschbetonfahrbahndecken werden im Hinblick auf den Verdunstungsschutz des jungen Betons zwei Nachbehandlungsgänge unterschieden. Die erste Nachbehandlung erfolgt im Anschluss an den Betoneinbau, indem auf die Oberfläche in der Regel ein Kombinationsmittel, das aus einem Verzögerer und einer Nachbehandlungskomponente besteht, aufgesprüht wird. Je nach Witterung und Betonrezeptur wird der Oberflächenmörtel nach 8 bis 24 Stunden ausgebürstet und auf diese Weise das Grobkorngerüst freigelegt. Nach dem Ausbürsten erfolgt die zweite Nachbehandlung, indem beispielsweise ein Nachbehandlungsmittel auf die Oberfläche gesprüht wird. Am cbm der TU München wurde in einem Forschungsvorhaben unter anderem der Frage nachgegangen, welchen Einfluss beide Nachbehandlungen auf den Frost-Tausalz-Widerstand von Waschbetonfahrbahndecken haben [1].

Beton

Für die Untersuchungen wurde eine praxisübliche Waschbetonrezeptur mit Ausfallkörnung verwendet (siehe Tabelle 1). Als Zemente wurden ein CEM I 42,5 N und ein CEM III/A 42,5 N eingesetzt.

Der Wasserzementwert betrug 0,4. Den Betonen wurde ein Luftporenbildner zugegeben, um einen Frischbetonluftporengehalt von 6,5 Vol.-% zu erzielen. Des Weiteren wurde ein Fließmittel eingesetzt, um die gewünschten Verarbeitungseigenschaften zu erreichen. Für die Untersuchungen wurden Waschbetonplatten mit $L \times B \times H = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ gemäß TP Beton-StB 10 [2] hergestellt. Der Beton wurde nach 16 Stunden (CEM I) bzw. 10 Stunden (CEM III) mit einer Drahtbürste ausgebürstet. Der Ausbürstzeitpunkt wurde so gewählt, dass die Texturtiefe zwischen 0,6 und 1,1 mm lag.

Nachbehandlung

Zur Untersuchung des Einflusses der ersten Nachbehandlung wurden je Zementart drei Waschbetonplatten hergestellt und wie folgt nachbehandelt:

Auf die erste Platte wurde nur ein Verzögerer (100 g/m^2) aufgetragen. Dies simulierte einen nicht nachbehandelten Beton. Auf die zweite Platte wurde ebenfalls lediglich der Verzögerer aufgetragen. Im Gegensatz zur ersten Platte wurde die Probekörperschalung mit einer Glasplatte abgedeckt, was einer konservierenden Nachbehandlung durch Abdecken mit Folie in der Praxis entspricht. Die dritte Platte wurde praxisüblich nachbehandelt, indem ein Kombinationsmittel (250 g/m^2) aufgetragen wurde. Anschließend lagerten alle Probekörper bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$ Beim CEM-III-Beton war die Ausbürsttiefe bei Verwendung des Kombinationsmittels verglichen mit der Ausbürsttiefe bei Verwendung des reinen Verzögerers wesentlich geringer. Daher wurde beim CEM-III-Beton auf die Verwendung des Kombinationsmittels verzichtet und stattdessen ebenfalls der Verzögerer aufgetragen und der Beton bei $20^\circ\text{C}/85\% \text{ r.F.}$ gelagert, um eine Wasserverdunstung aus der Betonoberfläche einzustellen, die zwischen der eines nicht nachbehandelten und der eines mit Glasplatte konservierend nachbehandelten Betons lag.

Nach dem Ausbürsten erfolgte die zweite Nachbehandlung durch Auftragen von 200 g/m^2 Nachbehandlungsmittel (NBM) identisch für alle Betonprobekörper. Anschließend lagerten die Probekörper weiter bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$ Tabelle 2 fasst die Nachbehandlungsvarianten zur Untersuchung des Einflusses der ersten Nachbehandlung zusammen.

Zur Untersuchung des Einflusses der zweiten Nachbehandlung wurden ebenfalls je Zementart drei Waschbetonplatten hergestellt, beim CEM-I-Beton ein Kombinationsmittel bzw. beim CEM-III-Beton ein Verzögerer aufgetragen und die Probekörper bis zum Ausbürsten bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$ (CEM I) bzw. bei $20^\circ\text{C}/85\% \text{ r.F.}$ (CEM III/A) gelagert. Nach dem Ausbürsten wurden die Probekörper wie folgt nachbehandelt: Als Referenz diente ein Beton ohne zweite Nachbehandlung. Als konservierende Nachbehandlung wurde die Waschbetonoberfläche für sieben Tage mit einem feuchten Jutetuch abgedeckt. Die praxisübliche Nachbehandlung bestand darin, ein Nachbehandlungsmittel (200 g/m^2) aufzutragen. Die Betone lagerten anschließend bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$ Tabelle 3 fasst die drei Nachbehandlungsvarianten zusammen.

Tabelle 1: Betonrezeptur

Ausgangsstoff	Anteil [kg/m^3]	
Zement (CEM I bzw. CEM III/A)	430	
Wasser	172	
Gesteinskörnung	0/2 (quarzitischer Sand)	494
	5/8 (Granit Edelsplitt)	1143

Tabelle 2: Nachbehandlungsmaßnahmen zur Untersuchung des Einflusses der ersten (nach dem Einbau erfolgenden) Nachbehandlung

Erste Nachbehandlung (nach Betoneinbau)	Zweite Nachbehandlung (nach Ausbürsten)
Verzögerer aufsprühen und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$	Nachbehandlungsmittel aufsprühen und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$
Verzögerer aufsprühen und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/85\% \text{ r.F.}$ (nur bei CEM-III-Beton)	
Verzögerer aufsprühen, Abdecken mit Glasplatte und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$	
Kombinationsmittel aufsprühen und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$ (nicht bei CEM-III-Beton)	

Untersuchungen

Während der Lagerung der Probekörper wurde deren Wasserverdunstung über Wägung ermittelt. Im Alter von sieben Tagen wurden aus den Platten je drei Probekörper mit den Abmessungen $L \times B \times H = 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ herausgesägt. Der Frost-Tausalz-Widerstand wurde in Anlehnung an das CDF-Verfahren an den Waschbetonoberflächen untersucht. Dazu wurden die Probekörper zunächst mit einer aluminiumkaschierten Butylkautschukfolie ummantelt. Im Alter von 28 Tagen (CEM I) bzw. 56 Tagen (CEM III) wurden die Probekörper zum kapillaren Saugen für sieben Tage in eine 3 %ige Natriumchloridlösung gestellt. Anschließend wurden sie mit 56 (CEM I) bzw. 28 (CEM III) Frost-Tau-Wechseln beansprucht. Dabei entspricht ein Frost-Tau-Wechsel einer Abkühlung des Betons von $+20^\circ\text{C}$ auf -20°C und einer anschließenden Erwärmung auf $+20^\circ\text{C}$. Die Dauer eines Frost-Tau-Wechsels beträgt 12 Stunden. Während der Frostbeanspruchung befand sich die Prüffläche der Probekörper ebenfalls in 3 %iger Natriumchloridlösung. In festgelegten Abständen wurde die Abwitterung der Betone bestimmt. Derzeit wird davon ausgegangen, dass 28 Frost-Tau-Wechsel in der Praxis einem Zeitraum von mindestens 50 Jahren entsprechen [3].

Ergebnisse

Die Untersuchung zur Wasserverdunstung an der Oberfläche der Betone während der Lagerung zeigten unabhängig von der Zementart erwartungsgemäß, dass bei geringerer Nachbehandlungsgüte die Verdunstung höher ist. Die bis zum Ausbürsten verdunstende Wassermenge ist dabei deutlich größer als die Wassermenge, die im gleichen Zeitraum nach dem Ausbürsten verdunstet. Dies ist damit begründet, dass der Beton nach der Herstellung noch als Suspension vorliegt, so dass die Wasserverdunstung vergleichbar zu der einer freien Wasseroberfläche erfolgen kann [4]. Mit zunehmendem Alter verdichtet sich das Betongefüge und Wasser aus dem Betoninneren wird nur langsam an die Oberfläche nachtransportiert.

Ein Unterschied zwischen CEM-I- und CEM-III-Betonen im Hinblick auf die verdunstenden Wassermengen wurde nicht beobachtet.

Zum Einfluss der ersten Nachbehandlung auf den Frost-Tausalz-Widerstand stellt Bild 1 den Verlauf der Abwitterungen der untersuchten Betone dar.

Sowohl für die CEM-I- als auch für die CEM-III-Betone ist kein Einfluss der ersten

Tabelle 3: Nachbehandlungsmaßnahmen zur Untersuchung des Einflusses der zweiten (nach dem Ausbürsten erfolgenden) Nachbehandlung

Erste Nachbehandlung (nach Betoneinbau)	Zweite Nachbehandlung (nach Ausbürsten)
Kombinationsmittel aufsprühen und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$ (CEM I) bzw. Verzögerer aufsprühen und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/85\% \text{ r.F.}$ (CEM III/A)	Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$
	Abdecken mit feuchtem Jutetuch und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$
	Nachbehandlungsmittel aufsprühen und Lagerung bei $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$

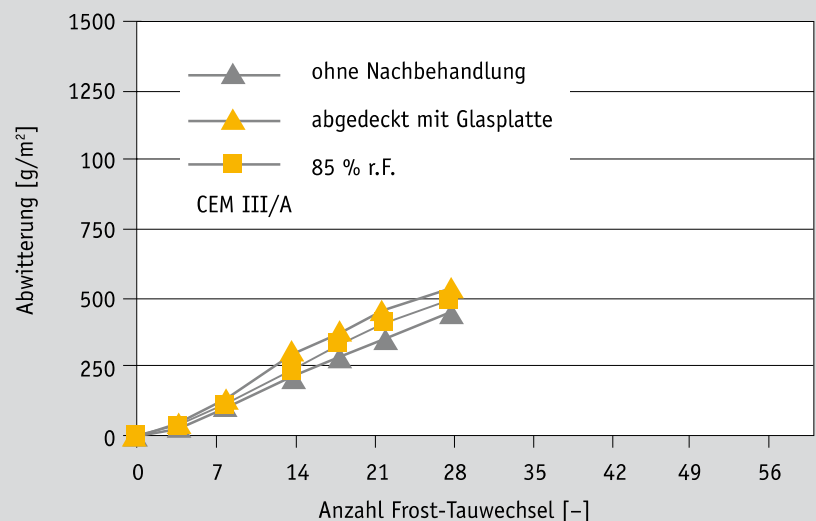
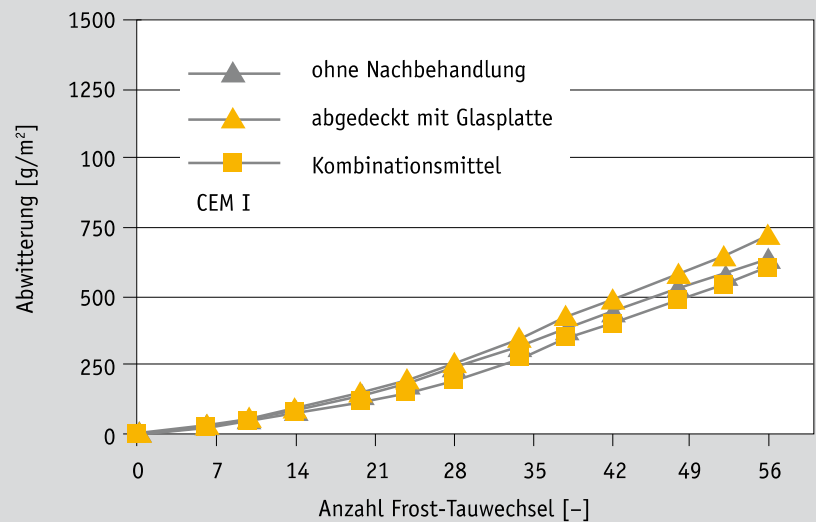


Bild 1: Einfluss der ersten Nachbehandlung: Abwitterung der untersuchten Betone

Nachbehandlung auf die Abwitterung feststellbar. Nach 28 Frost-Tau-Wechseln liegen die Abwitterungen der CEM-I-Betone im Mittel bei rd. 240 g/m^2 . Die Abwitterungen der CEM-III-Betone sind mit im Mittel rd.

490 g/m^2 annähernd doppelt so hoch. Dass für die hier untersuchten Nachbehandlungsvarianten kein Einfluss der ersten Nachbehandlung auf den Frost-Tausalz-Widerstand festgestellt wurde, ist zunächst darauf

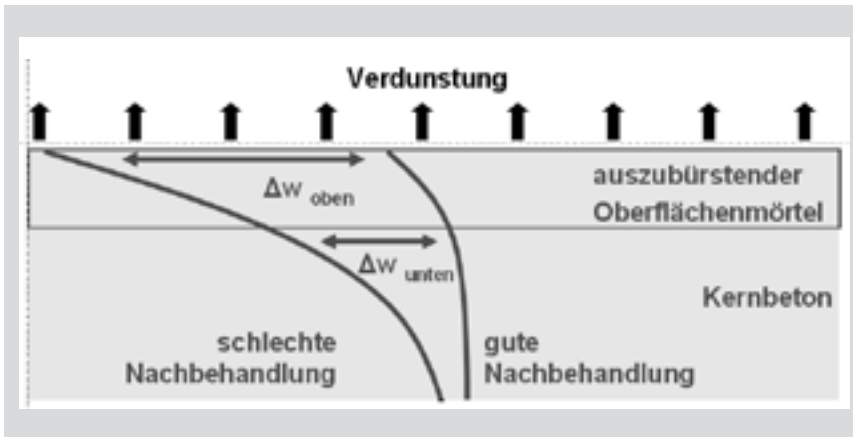


Bild 2: Qualitative Darstellung des Wassergehalts im Randbereich bei schlechter Nachbehandlung (links) und guter Nachbehandlung (rechts)

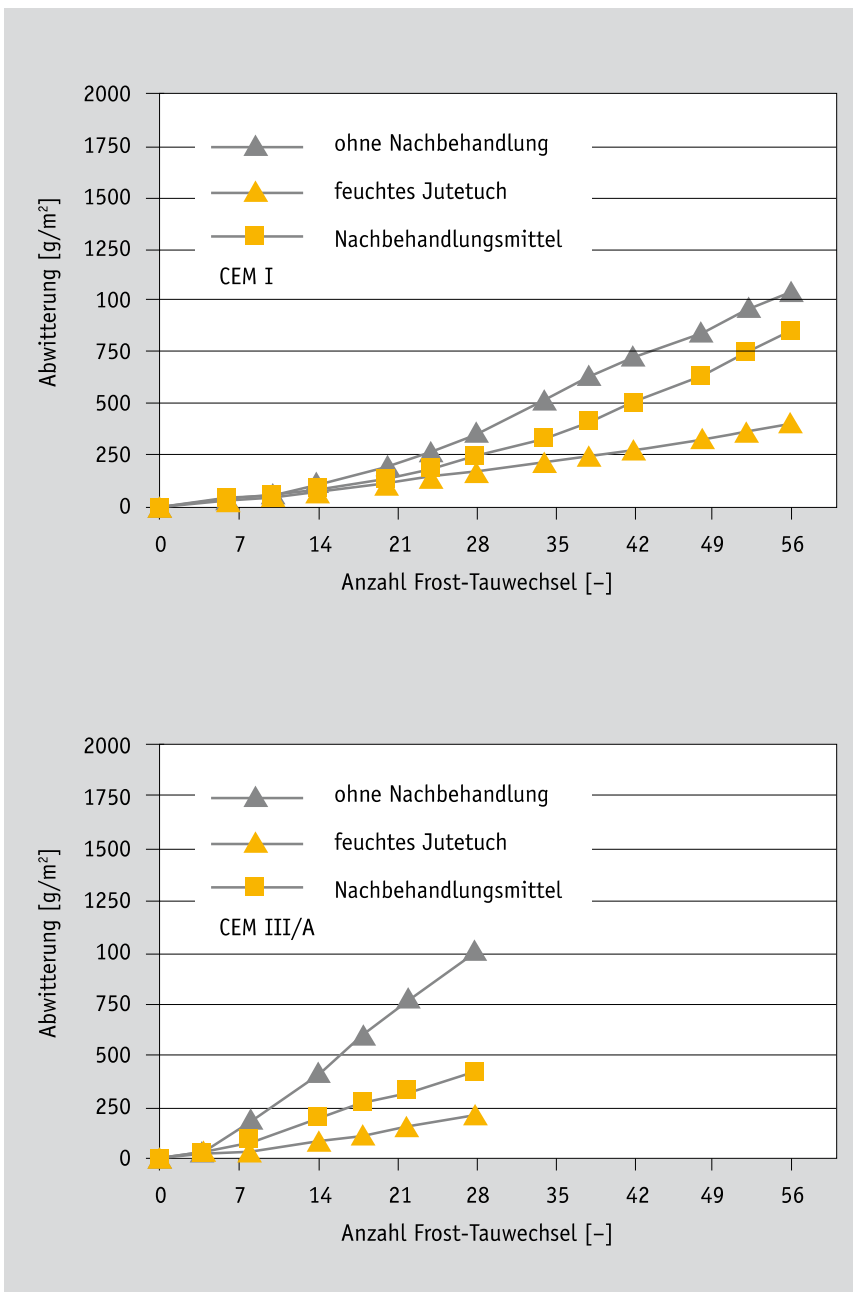


Bild 3: Einfluss der zweiten Nachbehandlung: Abwitterung der untersuchten Betone

zurückzuführen, dass bei Waschbeton ein Teil des von der Austrocknung betroffenen Oberflächenmörtels ausgebürstet wird und dieser somit die Dauerhaftigkeit des Betons nicht negativ beeinflusst. Zusätzlich dient der auszubürende Oberflächenmörtel als Verdunstungsschutz für den tiefer liegenden Beton. Bild 2 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Vor dem Ausbürsten ist an der Betonoberfläche der Unterschied der Wassergehalte (Δ_w oben) bei unterschiedlichen Nachbehandlungsgütern größer als unterhalb des auszubürenden Oberflächenmörtels (Δ_w unten). Da die Dauerhaftigkeitseigenschaften unterhalb dieses auszubürenden Randbereichs bestimmt werden, sind folglich die zu erwartenden Auswirkungen der Austrocknung bei Waschbetonoberflächen geringer als beispielsweise bei Straßenbeton mit Jutetuchtextur.

Hinzu kommt, dass Beton in jungem Alter noch kein dichtes Gefüge entwickelt hat und das verdunstende Wasser aus tieferen Schichten nachtransportiert werden kann. Die Hydratation im oberflächennahen Bereich wird folglich kaum gestört. Dies wurde auch von Huber [5] beobachtet, bei dessen Untersuchungen bis zum Alter von 18 Stunden bei freier Verdunstung an der Oberfläche des Betons der Gehalt des chemisch gebundenen Wassers konstant blieb.

Die erste Nachbehandlung ist dennoch für die Dauerhaftigkeit des Waschbetons von Bedeutung, da die Praxis zeigt, dass eine geringe Güte der ersten Nachbehandlung zu einer Rissbildung infolge Frühschwindens insbesondere im stärker austrocknenden Randbereich führen kann.

Zum Einfluss der zweiten Nachbehandlung auf den Frost-Tausalz-Widerstand stellt Bild 3 den Verlauf der Abwitterungen der untersuchten Betone dar.

Beim CEM-I- und beim CEM-III-Beton ist ein deutlicher Einfluss der zweiten Nachbehandlung auf den Frost-Tausalz-Widerstand feststellbar. Mit abnehmender Güte der Nachbehandlung sind die Abwitterungen höher. Beim CEM-I-Beton betragen nach 28 Frost-Tau-Wechseln die Abwitterungen des nicht nachbehandelten Betons mit 357 g/m^2 das 2-fache der Abwitterung des Betons, der mit einem feuchten Jutetuch abgedeckt war. Nach 56 Frost-Tau-Wechseln nimmt dieser Unterschied noch zu, so dass die Abwitterungen des nicht nachbehandelten Betons mit 1040 g/m^2 das 2,6-fache der Abwitterung des Betons, der mit einem feuchten Jutetuch abgedeckt war, betragen. Erwartungsgemäß verlaufen die Abwitterungen des Betons, auf den ein Nachbehandlungsmittel aufgetragen

wurde, zwischen denen der beiden anderen Betone. Wesentlich stärker beeinflusst die zweite Nachbehandlung den Frost-Tausalz-Widerstand des CEM-III-Betons. Hier betragen nach 28 Frost-Tau-Wechseln die Abwitterungen des nicht nachbehandelten Betons mit 1000 g/m² das 4,6-fache von denen des Betons, der mit einem feuchten Jutetuch abgedeckt war.

In Bild 4 sind die Abwitterungen des CEM-I-Betons und des CEM-III-Beton nach 28 Frost-Tau-Wechseln in Abhängigkeit der zweiten Nachbehandlung gegenübergestellt.

Der Vergleich der Abwitterungen zeigt, dass bei geringer Nachbehandlungsgüte die Abwitterungen des CEM-III-Betons wesentlich höher als die des CEM-I-Betons sind, was mit der höheren Nachbehandlungsempfindlichkeit des CEM-III-Betons begründet ist. Bei Abdeckung mit einem feuchten Jutetuch sind die Abwitterungen beider Betone vergleichbar niedrig.

Trotz der im Vergleich zur ersten Nachbehandlung niedrigeren Wasserverdunstung an der Betonoberfläche ist der Einfluss der zweiten Nachbehandlung auf den Frost-Tausalz-Widerstand wesentlich größer. Das Betongefüge ist infolge der fortgeschrittenen Hydratation zunehmend verdichtet, so dass die Wasserverdunstung nur begrenzt durch eine Nachlieferung aus dem Inneren ausgeglichen werden kann. Dies stört die Hydratation an der Oberfläche und führt zu einem geringeren Frost-Tausalz-Widerstand. Stärker als beim CEM-I-Beton wirkt sich die Austrocknung auf den CEM-III-Beton aus.

Zusammenfassung

Aus den durchgeführten Untersuchungen lässt sich für die Praxis ableiten, dass die Nachbehandlung nach dem Ausbürsten den Frost-Tausalz-Widerstand des Waschbetons stärker beeinflusst als die Nachbehandlung nach dem Betoneinbau.

Bei hoher Nachbehandlungsgüte können mit CEM-III-Betonen im Vergleich zu CEM-I-Betonen Fahrbahndecken gleicher Dauerhaftigkeit hergestellt werden. (Bild 5)

Literatur

- [1] Skarabis, J., Gehlen, C.: Forschungsbericht zum Vorhaben Nachbehandlung von Waschbetonoberflächen (FE 08.0194/2008/LGB) der Bundesanstalt für Straßenwesen, München, Juli 2010.

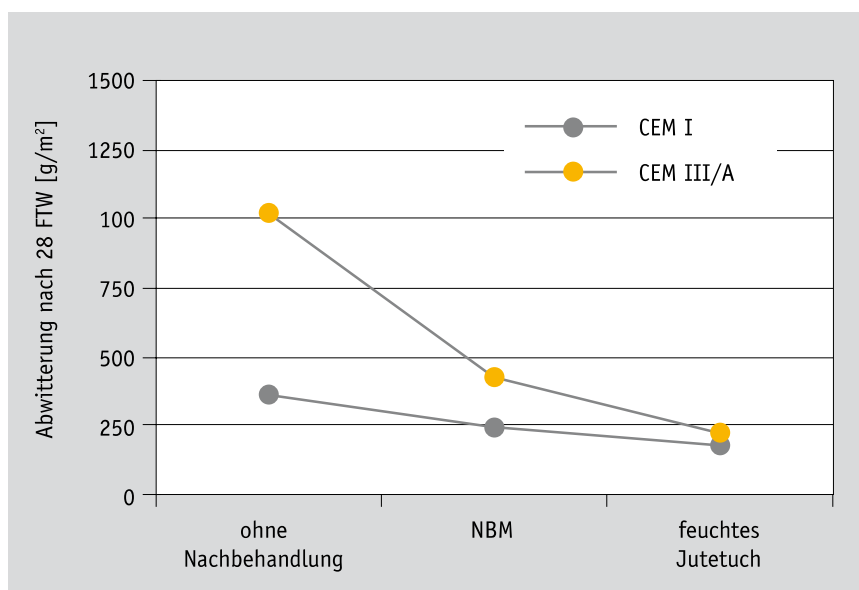


Bild 4: Abwitterung des CEM-I- und des CEM-III-Betons nach 28 Frost-Tau-Wechseln in Abhängigkeit der zweiten Nachbehandlung



Bild 5: Waschbetonoberfläche mit einem CEM III/A 42,5 N

- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Arbeitsgruppe Betonstraßen: Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, TP Beton-StB 10, Ausgabe 2010.
- [3] Müller, H.S.; Guse, U.: Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse, In: beton, 12/2009.
- [4] Nischer, P.: Austrocknen von jungem Beton, Teil 2. In: Betonwerk- und Fertigteil-Technik, Heft 4 1976.
- [5] Huber, J.: Zur Nachbehandlung von Beton – Auswirkungen des Wasserverlustes durch Evaporation in jungem Alter am Beispiel von Straßenbeton. Dissertation, München 2009.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen
Inhaber des Lehrstuhls Baustoffkunde und Werkstoffprüfung
Technische Universität München
Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm)
Baumbachstr. 7
81245 München
E-Mail: gehlen@cbm.bv.tum.de

Dipl.-Ing. Jens Skarabis
Leiter der Arbeitsgruppe Betontechnologie
Technische Universität München
Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm)
Baumbachstr. 7
81245 München
E-Mail: skarabis@cbm.bv.tum.de