

# Erhöhung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Straßenbeton durch Hydrophobierung

FA 8.165

Forschungsstelle: Bauhaus-Universität Weimar, Institut für Baustoffe (Prof. Dr.-Ing. J. Stark)

Bearbeiter: Frentzel, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Oktober 2003

## 1. Aufgabenstellung

Straßen und Autobahnen werden bis in den Spätherbst und Winter hinein betoniert. Auf Grund des Betonierzeitpunktes wirken eine Reihe negativer Einflüsse auf die jungen Straßendecken ein, die das Betongefüge schwächen und die Widerstandsfähigkeit herabsetzen. Die u. U. anhaltend niedrigen Temperaturen bedingen zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe einen vergleichsweise niedrigen Hydratationsgrad und damit eine geringere Festigkeit des Gefüges. Um bei einsetzendem Frost und Schneefall die Verkehrssicherheit zu gewährleisten, werden Taumittel auf die junge Decke aufgebracht.

In den jungen, nicht vollständig hydratisierten Beton dringen Feuchte und Tausalzlösungen ein und belasten das unreife Gefüge bei frühzeitigem Frosteintritt. Insbesondere im Bereich der Fahrzeugspuren treten gleichzeitig physikalische und chemische Belastungen durch Frost und Tausalze sowie mechanische Beanspruchung durch den Verkehr auf. Feuchtigkeit und Salz können zusätzlich unter dem Druck der Autoreifen in die Oberfläche eindringen.

Es stellt sich immer wieder die Frage, wie diese in einer kritischen Jahreszeit eingebrachten Betone besonders im ersten Winter sinnvoll geschützt werden können. Die ZTV Beton-StB 01 [3] schlägt für im Herbst hergestellte Flächen Imprägnierungen zum Schutz der jungen Betonoberflächen vor, wenn im ersten Winter Tausalze zum Einsatz kommen sollen. Für einen Einsatz im Straßenbetonbau zur Verbesserung des Frost-Tausalz-Widerstandes sehr junger Betone wäre es technologisch sinnvoll, das gewünschte Oberflächenschutzsystem gleich nach der Herstellung statt (oder in Kombination mit) einer Nachbehandlungsmaßnahme zu verwenden.

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit war es, die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen hydrophobierender Maßnahmen im Straßenbau zu untersuchen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen der Einfluss des umgebenden Klimas und des Alters des Betons zum Auftragszeitpunkt auf die Wirksamkeit einer hydrophobierenden Maßnahme hinsichtlich einer Verbesserung der Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit. Darüber hinaus sollten der Einfluss der Porosität des Untergrundes sowie der Wirkstoffbasis des verwendeten Luftporenbildners auf die Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit hydrophobierter Betone abgeschätzt werden.

## 2. Materialien und Untersuchungsmethodik

### 2.1 Eigenschaften der verwendeten Applikationsmittel

Als typische Vertreter moderner Hydrophobierungsmittel wurden 2 Produkte auf Isooctyltriethoxysilanbasis verwendet, ein Mittel als flüssiges Wirkstoffkonzentrat (HMB), das zweite Mittel auf gleicher Wirkstoffbasis als Creme (HMC). Als drittes Mittel kam ein Isobutyltriethoxysilan (HMA) zum Einsatz, das die Bedingung erfolgreicher praktischer Einsätze im Brückenbau erfüllt und gleichzeitig eine Variation der Wirkstoffbasis darstellt. Für

alle Versuche wurde eine Auftragsmenge von 200g/m<sup>2</sup> angestrebt.

Als Nachbehandlungsmittel kamen zwei typische zugelassene Nachbehandlungsmittel auf Paraffinbasis mit einer Sperrwirkung von min. 75 % zum Einsatz. Von den Herstellern wird ein Verbrauch von 150–175 g/m<sup>2</sup> empfohlen. Diese Grenzen waren für alle Versuche einzuhalten.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Materialien, die jeweilige Wirkstoffart, den Wirkstoffgehalt und das Lösungsmittel.

Tab. 1: Verwendete Applikationsmittel

Kurz-bez.	Wirkstoff-art	Wirkstoff-gehalt	Konsis-tenz	Träger-mate-rial	Bemerkun-gen
<b>Hydrophobierungsmittel</b>					
HMA	Butyltri-ethoxysilan	98–100 %	flüssig	Kon-zentrat	unverdünnte Anwendung
HMB	Octyltri-ethoxysilan	99 %	flüssig	Kon-zentrat	unverdünnte Anwendung; Wirkstoff entspr. HMC
HMC	Octyltri-ethoxysilan	80 %	cremig	Wasser	Wirkstoff entspr. HMB
<b>Nachbehandlungsmittel</b>					
NBM 1	Paraffin	–		Wasser	–
NBM 2	Paraffin	–		Wasser	–

### 2.2 Mischungsentwurf und Herstellung

Als Untergrund für sämtliche Hauptuntersuchungen wurde grundsätzlich eine einheitliche Mischrezeptur verwendet, die der Zusammensetzung eines Straßenbetons entsprechen soll.

In Tabelle 2 sind die Eckdaten der Grundrezeptur zusammengefasst.

Tab. 2: Grundrezeptur

Zement	z	359	kg/m <sup>3</sup>	CEM I 32,5 R-sd-
Wasser	w	147	kg/m <sup>3</sup>	
	w/z	0,41		
Zuschlag	k	1 944	kg/m <sup>3</sup>	Fraktion 0/2 Rheinsand Fraktionen 2/22,4 Diabassplitt
Sieblinie		½ AB		
LP-Gehalt	ε	5,0 ± 0,3	%	(LP1)
Verdichtungsmaß	v	1,3 ± 0,2		

## 3. Untersuchungsschwerpunkte

Das Versuchsprogramm umfasst, abgeleitet aus den interessierenden Fragestellungen, 5 Hauptschwerpunkte:

1. Untersuchung des Einflusses der umgebenden Klimabedingungen – Vergleichende Betrachtung der Auswirkung herbstlicher Vorlagerungsbedingungen und normaler Vorlagerungsbedingungen bis zum Frostbeginn unter Einbeziehung verschiedener Applikationsmittel, Auftragszeitpunkte und Nachbehandlungsvarianten.
2. Beeinflussung der Randzone durch frühzeitigen Hydrophobierungsmittelauftrag

3. Simulation von Fahrzeugüberrollungen auf nassen Oberflächen mit anschließender Frost-Tausalz-Belastung
4. Variation der Wirkstoffbasis des Luftporenbildners und der Zusammensetzung des Untergrundes
5. Untersuchung der Beeinflussung der Verkehrssicherheit durch Griffigkeitsänderungen

#### 4. Zusammenfassung der Ergebnisse und Bewertung

##### 4.1 Wirksamkeit einer Hydrophobierung unter Frost-Tausalz-Belastung

Durch die Applikation hydrophobierender Imprägnierungen können unabhängig vom Auftragszeitpunkt drastische Verbesserungen des Lösungsaufnahmeverhaltens erzielt werden. Eine nachträgliche Lösungsaufnahme während einer Frost-Tauwechsel-Belastung kann durch eine Hydrophobierung jedoch nicht verhindert werden. Nach Einsetzen der Frost-Tauwechsel-Belastung erfolgt eine zusätzliche Lösungsaufnahme unabhängig vom Auftragszeitpunkt und der Hydrophobierungsmittelart, verursacht durch die Wirkung der durch Setzer [1] beschriebenen "Mikroislinsepumpe". Das bedeutet, dass, sobald Frost-Tauwechsel auf einen hydrophobierten Beton einwirken und Feuchtigkeit auf der Oberfläche zur Verfügung steht, eine langsame Hinterfeuchtung der hydrophobierten Randzone einsetzt. Bestätigt wird die Theorie von den Ergebnissen der Untersuchungen mittels MRE.

Es konnte nachgewiesen werden, dass durch den Einsatz von Hydrophobierungsmitteln der elektrische Widerstand der Randzone nach dem Auftrag nachhaltig erhöht wird. Sowohl durch das kapillare Saugen als auch durch die dynamische Belastung wird eine erste Verringerung des elektrischen Widerstandes hervorgerufen. Mit Einsetzen der Frost-Tau-Belastung wird die Wirkung der hydrophobierten Zone sofort aufgehoben. Die hydrophobierte Randzone kann der Wirkung der "Mikroislinsepumpe" keinen ausreichenden Widerstand entgegensetzen.

Die von Wittmann [2] beobachtete Verlagerung des Beginns der Abwitterung hydrophobierter Betone auf höhere Frost-Tausalz-Wechselzahlen (FTW) wurde bestätigt. In den meisten Fällen kam es nach einer anfänglich sehr geringen Abwitterung nach dem 28. FTW zu einer plötzlichen progressiven Zunahme der Abwitterungsmengen, obwohl die aufgenommenen Gesamtlösungsmengen deutlich unter denen der unbehandelten Prüfserien lagen. Die Abwitterungsmengen der hydrophobierten Prüfserien (Auftragszeitpunkt 14 und 28 Tage) erreichen nach 56 FTW das Niveau der unbehandelten Prüfserien bzw. übersteigen es leicht. Es kommt demnach in der hydrophobierten Betonrandzone zu einer Verschiebung des schadensauslösenden, kritischen Sättigungsgrades.

Bei der Messung mittels MRE wurde während der nach Abschluss der Frost-Tausalz-Belastung einsetzenden Trocknung die Ausbildung eines signifikanten scharfen Knickpunktes unterhalb der hydrophobierten Zone beobachtet. Der kontinuierliche Trocknungsprozess wird unterhalb der hydrophobierten Zone gebremst.

Auch nach 56 FTW und zum Teil erheblichen Abwitterungen konnte an allen Prüfserien eine gute Restwirksamkeit hinsichtlich des Wasseraufnahmeverhaltens festgestellt werden. Durch die deutliche Senkung der Gesamtlösungsaufnahme konnte das Eindringen der Chloridionen reduziert werden. Sowohl die Gesamtgehalte als auch die Eindringtiefen lagen deutlich unter denen der unbehandelten Prüfserien.

##### 4.2 Auswirkung des Auftragszeitpunktes auf die Gefügeausbildung

Es wurde nachgewiesen, dass ein Hydrophobierungsmittelauftrag auf mattheuchte Oberflächen negative Auswirkungen auf den Hydratationsverlauf der äußeren Betonrandzone hat. Porengrößenverteilung, Phasenentwicklung als auch die Verschleißfestigkeit der Randzone werden negativ beeinflusst. Trotz drastischer Senkung der kapillaren Lösungsaufnahme vor Einsetzen der Frost-Tausalz-Belastung kann deshalb das Abwitterungsverhalten nicht verbessert werden. Im Falle der "normal-klimatisch" (20 °C/65 % r.F) vorgelagerten Probekörper wurde sogar eine verstärkte Abwitterung beobachtet. Bei einem Auftrag in einem Alter von 14 Tagen ist nicht mehr mit einer negativen Beeinflussung der Randzone zu rechnen.

##### 4.3 Einfluss der umgebenden Klimabedingungen auf die Wirksamkeit

Trotz extrem unterschiedlicher Vorbelastungsvarianten zur Simulation ungünstiger klimatischer Bedingungen konnte bei den "herbstlich" vorbelasteten Probekörperserien keine negative Gefügevorbereitung nach 28 Tagen nachgewiesen werden. Sowohl "herbstlich" als auch "normalklimatisch" vorbelastete Probekörper wiesen ähnliches Druck- und Biegezugverhalten sowie vergleichbare Feuchtegehalte vor Beginn der CDF-Belastung auf. Eine negative Beeinflussung dieser Eigenschaften durch den frühzeitigen Frostangriff und die periodisch hohen relativen Luftfeuchtigkeiten konnte nicht nachgewiesen werden. Ursache für die starke Austrocknung und die sich einstellenden ähnlichen Feuchtegehalte ist wahrscheinlich die starke Luftumwälzung in der Klimakammer. Ebenfalls auf die starke Luftumwälzung ist die Verwirbelung der Hydrophobierungsmittel und Kontamination der unbehandelten Prüfserien zurückzuführen. Trotz der starken Luftbewegungen, zeitweise hohen relativen Luftfeuchtigkeiten und niedrigen Temperaturen (bis -10 °C) wurde die Wirksamkeit der Hydrophobierungen hinsichtlich des Lösungsaufnahmeverhaltens nicht negativ beeinflusst. Auch hinsichtlich des Verhaltens unter Frost-Tausalz-Belastung wurde keine negative Veränderung im Vergleich zu "normalklimatisch" vorgelagerten Prüfserien beobachtet.

##### 4.4 Einfluss von Fahrzeugüberrollungen auf die Wirksamkeit

Im Rahmen der Versuchsserien zur reinen Erfassung des Einflusses der dynamischen Verkehrsbelastung auf die Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit konnte ein deutlicher Einfluss auf die Lösungsaufnahme der hydrophobierten Prüfserien, verursacht durch die dynamische Belastung, festgestellt werden. Während an den unbehandelten und mit flüssigem Nachbehandlungsmittel geschützten Serien kaum eine zusätzliche Lösungsaufnahme erfolgte, nahmen die hydrophobierten Prüfserien im Vergleich zum Zeitpunkt vor dem Belastungsbeginn deutlich zusätzliche Lösung auf. Eine signifikante Verschlechterung des Frost-Tausalz-Widerstandes konnte nicht nachgewiesen werden. In einigen Fällen kam es zu einem früheren Einsatz der progressiven Zunahme des Abwitterungsverhaltens. Es scheint sich hier jedoch nicht um den entscheidenden, schadensauslösenden Faktor zu handeln, sondern nur um eine mögliche Beschleunigung ablaufender Prozesse.

##### 4.5 Einfluss des w/z-Wertes auf das Verhalten unter Frost-Tausalz-Belastung

Durch die Untersuchungen an Betonen mit unterschiedlichen w/z-Werten konnte gezeigt werden, dass hydrophobierte Betone mit hohen w/z-Werten (w/z > 0,5) und künstlich eingeführten Luftporen eine verstärkte nachträgliche Lösungsaufnahme während der Frost-Tausalz-Belastung aufweisen. Bei Luftporenbe-

tonen mit niedrigen  $w/z$ -Werten ( $w/z = 0,41$ ) und Betonen ohne künstliche Luftporen entspricht der Verlauf der nachträglichen Wasseraufnahme dem einer nicht hydrophobierten, feucht nachbehandelten Probe. Insbesondere das Abwitterungsverhalten der Betone ohne künstliche Luftporen konnte durch die Hydrophobierung drastisch verbessert werden.

#### 4.6 Einfluss der Wirkstoffbasis des LP-Bildners auf das Verhalten unter Frost-Tausalz-Belastung

Ein Einfluss der Wirkstoffbasis der verwendeten Luftporenbildner auf die Frost-Widerstandsfähigkeit hydrophobierter und nicht hydrophobierter Betone konnte ebenfalls nicht festgestellt werden.

#### 4.7 Beeinflussung der Griffigkeit

Es konnte kein drastischer Einfluss auf die Griffigkeit der Oberflächen und damit auf die Verkehrssicherheit nachgewiesen werden. Die Minderung der mittels SRT-Pendel ermittelten Griffigkeiten betrug 3 bis 4 Skaleneinheiten.

### 5. Schlussfolgerungen

Als Ergebnis ist damit festzustellen, dass eine langzeitige, positive Beeinflussung der Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit durch eine Hydrophobierung nicht sicher nachgewiesen werden konnte. Zum Teil konnten temporäre Verbesserungen erreicht

werden, die aber mit späteren, plötzlichen progressiven Abwitterungen verbunden waren.

Es muss jedoch deutlich darauf hingewiesen werden, dass diese Ergebnisse nicht einfach auf jegliches Einsatzgebiet übertragen werden dürfen. Insbesondere auf senkrechten Flächen ist die Voraussetzung eines ungehinderten Nachsaugens während der Auftauphase nicht in dem Maße gegeben. Das Risiko eines Schadenseintrittes ist damit deutlich geringer, wenn überhaupt gegeben.

Auf Flächen, auf denen Tausalzlösungen nicht sicher abgeführt werden und sich bei einem Frosteinsatz auf der Oberfläche befinden, kommt es jedoch zu einem Versagensrisiko. Wann und ob ein Versagen eintritt, ist auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse noch nicht vorauszusagen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Setzer, M. J.: Die Mikroislinsenpumpe – Eine neue Sicht bei Frostangriff und Frostprüfung, In: Tagungsbericht – ibausil, Band 1(2000), S. 691–706
- [2] Wittmann, F. H.: Hydrophobieren, Trocknen und Frostbeständigkeit des Betons, In: Hydrophobieren – Grundlagen und Anwendung, WTA-Schriftenreihe Heft 10, AEDIFICATIO Verlag (2000), S. 41–57
- [3] ZTV Beton-StB 01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, FGSV Köln (2001), Nr. 899 □