



Kanton Zürich
Baudirektion
Tiefbauamt
Ingenieur-Stab

Tragkonstruktionen

Martin Käser
Brückeningenieur Kt. Zürich

Richtlinie Hydrophobierung

601.02.40

1. November 2016



Impressum

Herausgeber

Kanton Zürich
Baudirektion
Tiefbauamt
Walcheplatz 2
8090 Zürich

Telefon +41 43 259 31 51
Fax +41 43 259 56 30

Arbeitsgruppe

Dr. D. Flückiger Flückiger+Bosshard AG, Ingenieurbüro für Hoch u. Tiefbau, Bauwerkserhaltung, Materialtechnologie

Dr. A. Rota Flückiger+Bosshard AG, Ingenieurbüro für Hoch u. Tiefbau, Bauwerkserhaltung, Materialtechnologie

Dr. M. Käser Tiefbauamt Kt. Zürich, Abt. Ingenieur-Stab

Koreferat

D. Mühlethaler TBA Kt. ZH, Abt. Projektieren und Realisieren

Download

www.tba.zh.ch/internet/audirektion/tba/de/fachunterstuetzung/formulare_merkblaetter.html

Datum

1. November 2016

Inhalt

1 Grundlagen	5
2 Allgemeines	5
2.1 Begriffe	5
2.2 Zweck und Wirkung von Hydrophobierungen	6
2.3 Andere hydrophobierende Oberflächenschutzmassnahmen	7
2.4 Hydrophobierungen in Verbindung mit anderen Schutz- und Instandsetzungsmassnahmen	8
2.5 Hydrophobierungen bei Instandsetzungen	8
2.6 Hydrophobierungen in Verbindung mit Potenzialmessungen	9
2.7 Qualitätssicherung	10
3 Produkte / Erstprüfung	10
3.1 Produkte / Wirkstoffe	10
3.2 Anforderungen an die Produkte	11
4 Untergrund	11
5 Eignungsprüfung an Musterflächen	12
5.1 Definition und Zweck	12
5.2 Durchführung	13
5.3 Musterflächen	13
6 Qualitätsprüfung an Kontrollflächen	13
6.1 Definition und Zweck	13
6.2 Durchführung	13
6.3 Kontrollflächen	14
7 Prüfverfahren	14
7.1 Grundlagen	14
7.2 Rahmenbedingungen für die Prüfungen	14
7.2.1 Aufgebrachte Produktmenge	14
7.2.2 Flächendeckende Wirkung	15
7.2.3 Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit w	15
7.2.4 Bestimmung der Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels	15
8 Prüfberichte	16
8.1 Eignungsprüfung an Musterflächen und Qualitätsprüfung an Kontrollflächen.....	16

9 Kontrolle und Unterhalt	16
9.1 Kontrolle	17
9.2 Unterhalt	17
Anhang	19
A Grundprüfungen an hydrophobierten Betonoberflächen	

1 Grundlagen

Es gelten die folgenden Normen und Richtlinien:

- Norm SIA 269/2:2011 Erhaltung von Tragwerken – Betonbau
Gültig ab 01.01.2011
- SN EN 1504:2003 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von
Betontragwerken
Definitionen, Anforderungen, Güteüberwachung und Beurteilung
der Konformität
- SN EN 1504-2:2004 Oberflächenschutzsysteme für Beton
Gültig ab 01.05.2005
- SN EN 1504-9:2008 Allgemeine Grundsätze für die Anwendung von Produkten und
Systemen
Gültig ab 01.04.2009
- SN EN 1504-10:2003 Anwendung von Stoffen und Systemen auf der Baustelle, Quali-
tätsüberwachung der Ausführung
Gültig ab 01.07.2004

2 Allgemeines

2.1 Begriffe

Hydrophobierung, auch als hydrophobierende Imprägnierung bezeichnet, ist ein nicht filmbildender Oberflächenschutz für mineralische Baustoffe mit wasserabweisender Wirkung. Im Folgenden wird nur der Begriff Hydrophobierung verwendet, der die imprägnierende Wirkung einschliesst.

Hydrophobierungen können auf den meisten anorganisch-nichtmetallischen Baustoffen, wie Beton, Mörtel inklusive Verputze, Natur- und Kunststeine, Ziegel- und Tonerzeugnisse etc. appliziert werden. Im Folgenden wird explizit nur auf die Applikation auf Betonoberflächen eingegangen.

Hydrophobierungen sind nach korrekter Applikation auf der Oberfläche des Betons chemisch gebunden. Sie sind deshalb mechanisch nicht vom Beton trennbar, ohne die oberflächennahe Schicht des Betons abzutragen. Da sie keinen durchgehenden Film auf der Betonoberfläche bilden, erscheinen sie transparent und farblos und verändern das Erscheinungsbild der Betonoberfläche nicht. Je nach Produkt, Betonzusammensetzung und Oberflächenausführung können Hydrophobierungen die behandelten Oberflächen auch etwas dunkler erscheinen lassen, was in der Regel bei Sichtbeton unproblematisch ist. Die transparenten Hydrophobierungsmittel können auch pigmentiert hergestellt werden. Mit auf Betonoberflächen applizierten pigmentierten Hydrophobierungen wird auf Grund der minimalen Schichtdicke kein flächendeckender Farbauftrag, sondern eine oberflächliche Einfärbung des Betons erzielt, bei der die Topografie der Oberfläche nicht verändert (eingeebnet) wird.

Wegen ihrer Polymerstruktur können Hydrophobierungen durch UV-Strahlung oder durch reaktive Komponenten der Atmosphäre verändert oder abgebaut werden. Das führt zunächst zu teilweise unregelmässigen Verfärbungen, die das Erscheinungsbild eines Bauwerks beeinträchtigen können, und bei längerer Einwirkung zu einer reduzierten Schutzwirkung der Hydrophobierung. Wegen dieser Alterungsprozesse weisen Hydrophobierungen in der Regel eine deutlich kürzere Nutzungsdauer als das Untergrundmaterial auf und müssen während der Lebensdauer eines Bauwerks meist mehrmals erneuert bzw. ersetzt werden.

In der Praxis hat sich im Bereich der Strassenbauwerke die Einteilung der Hydrophobierungen bezüglich ihrer Anwendungsgebiete in zwei Klassen, die unterschiedliche Anforderungen erfüllen müssen, als zweckmässig und wirtschaftlich eingebürgert:

Klasse I

Temporärer Oberflächenschutz von jungem Beton (auch bei Betonersatz im Rahmen von Instandsetzungen). Ein derartiger temporärer Schutz kann beispielsweise aufgebracht werden, wenn der Beton im Herbst ausgeschalt wird und die Zeit bis zum Winteranfang nicht mehr für die korrekte Applikation eines Langzeit-Oberflächenschutzes (Hydrophobierung oder Beschichtung) ausreicht. Im folgenden Sommer kann die temporäre Hydrophobierung mit dem definitiven Oberflächenschutz überdeckt werden.

Klasse II

Langzeit-Oberflächenschutz mit einer Wirkungsdauer (Nutzungsdauer) von mindestens 10 Jahren

2.2 Zweck und Wirkung von Hydrophobierungen

Die Applikation einer Hydrophobierung ist in der Nutzungsvereinbarung unter „Besondere Vorgaben der Bauherrschaft“ festzulegen.

Hydrophobierungen können auf bestehenden – auch älteren – Betonoberflächen und auf neu erstellten Betonoberflächen appliziert werden. In beiden Fällen muss die Eignung des Untergrundes für eine Hydrophobierung vorgängig abgeklärt werden; Hydrophobierungen lassen sich nicht a Priori auf allen mineralischen Untergründen aufbringen.

Die Applikationen von Hydrophobierungen können im Rahmen des Schutzes von Neubauten, der Erhaltung bestehender Bauwerke oder der Instandsetzung schadhafter Bauwerke bzw. von Teilen davon erfolgen. Im Rahmen von Instandsetzungen können bestehende und neue Betonoberflächen nicht immer eindeutig abgegrenzt werden; die Hydrophobierung muss bei derartigen Anwendungen für die Applikation auf den verschiedenen vorkommenden Untergründen geeignet sein.

Eine Hydrophobierung verhindert oder reduziert das Eindringen von Wasser in Beton (und andere poröse anorganisch-nichtmetallische Baustoffe), bzw. verhindert oder reduziert die kapillare Aufnahme von flüssigem Wasser in Beton. Der Transport von gasförmigem Wasser im Porensystem des Betons wird durch eine Hydrophobierung hingegen nicht behindert. Als Folge davon trocknet ein hydrophobiertes Betonbauteil unter normalen klimatischen Bedin-

gungen kontinuierlich aus und nimmt auch bei lange andauernder Beaufschlagung mit Wasser keine erneute Feuchtigkeit auf, sofern es nicht stehendem Wasser ausgesetzt ist.

Durch den reduzierten Wassergehalt des Porensystems ist im Beton weniger gefrierfähiges Wasser vorhanden. Dadurch wird die Bildung von Frost- und Frosttausalzschäden in Oberflächennähe des Betons verhindert oder zumindest behindert.

Durch die reduzierte Wasseraufnahme des Betons werden auch weniger oder gar keine gelösten Salze – insbesondere Chloride – vom Beton aufgenommen, da diese Stoffe nur im Wasser beweglich sind. Ohne die Einwirkung von Chloriden bleiben die Bewehrungen im Beton von einem Passivfilm geschützt und können nicht korrodieren.

Der reduzierte Wassergehalt des Porensystems erhöht den elektrischen Widerstand des Betons. Dadurch werden Korrosionsreaktionen im Stahlbeton verlangsamt oder verhindert. Andererseits nehmen die Karbonatisierungsgeschwindigkeit und die Karbonatisierungstiefe mit abnehmendem Wassergehalt des Betons zu, was die Korrosionswahrscheinlichkeit erhöht. Erst wenn kein Wasser mehr im Porensystem des Betons vorliegen würde, würde die Karbonatisierungsreaktion ganz zum Stillstand kommen.

Die tatsächlich eintretende Korrosionsgeschwindigkeit bzw. Korrosionswahrscheinlichkeit wird durch die Wechselwirkung dieser gegenläufigen Prozesse bestimmt. In der Regel führt die Summe dieser Effekte dazu, dass die Dauerhaftigkeit von chemisch-physikalisch beanspruchten Stahlbetonbauteilen durch Hydrophobierung signifikant verbessert wird.

Bei der Applikation von Hydrophobierungen ist zu beachten, dass das Hydrophobierungsmittel nur durch das Porensystem des Betons aufgenommen wird. In einem porösen Beton wird deshalb eine grössere Eindringtiefe der Hydrophobierung (siehe Kap. 7.2.4) erreicht als in einem dichten Beton, andererseits ist aber der Bedarf an Hydrophobierungsmittel in einem porösen Beton höher, um eine bestimmte Eindringtiefe zu erreichen. Durch eine Hydrophobierung kann die Dauerhaftigkeit eines porösen Betons verbessert werden, die Schutzwirkung eines dichten Betons kann mit dieser Massnahme aber nicht erreicht werden.

2.3 Andere hydrophobierende Oberflächenschutzmassnahmen

Hydrophobierungen sind die einfachsten und wirtschaftlichsten Oberflächenschutzmassnahmen für Betonoberflächen und beeinflussen - ausser der Wasseraufnahme - weder die physikalischen noch die chemischen Eigenschaften des Betons. Für viele Anwendungen, insbesondere im Bereich von Strassenbauten, reicht diese einfache Schutzfunktion aber nicht ganz aus, und für bestimmte Anwendungen ist auch eine – meist hellere – Farbgestaltung des „natürlichen“ Betongraus erwünscht. Andererseits ist der Aufwand für eine filmbildende Beschichtung in vielen Fällen nicht gerechtfertigt, wenn die chemisch-physikalische Beanspruchung der Oberfläche eher mässig ist.

Eine Zwischenstellung bezüglich Schichtstärke und Schutzwirkung zwischen reinen Hydrophobierungen und filmbildenden Beschichtungen (Anstrichen) nehmen die Versiegelungen und Imprägnierungen ein. Diese Oberflächenschutzsysteme weisen hydrophobe Eigenschaften wie die eigentlichen Hydrophobierungen auf, sind aber filmbildend, wenn auch mit sehr geringen Schichtstärken. Sie verhindern daher zusätzlich das Eindringen gasförmiger Stoffe

(z.B. CO₂) in den Beton und können als Träger für Pigmente dienen. Damit können Betonoberflächen eingefärbt werden, wobei wegen der geringen Schichtstärke die Unebenheiten der Betonoberfläche nicht ausgeglichen werden, so dass das Erscheinungsbild einer Lasur und nicht einem glatten Anstrich entspricht. Die Begriffe Versiegelung und Imprägnierung sind in Bezug auf den Betonschutz nicht klar abgegrenzt und werden in der Praxis oft synonym verwendet. Auch die auf dem Markt angebotenen Produkte sind nicht immer eindeutig deklariert; bei Oberflächenschutzsystemen für Beton ist der Begriff Versiegelung eher gebräuchlich, hier steht der Schutz der Oberfläche gegen das Eindringen von Stoffen von aussen im Vordergrund. Beim Begriff Imprägnierung ist neben der Schutzfunktion noch die Verfestigung der oberflächennahen Betonschicht eine wesentliche Funktion, was insbesondere bei der Instandsetzung von Beton mit geschädigtem Gefüge (durch Frost etc.) und bei der Wasserabdichtung von Beton angewendet wird. Allen diesen nicht filmbildenden Produkten gemeinsam ist die hydrophobierende Wirkung als primäre Schutzfunktion.

2.4 Hydrophobierungen in Verbindung mit anderen Schutz- und Instandsetzungsmassnahmen

Hydrophobierungen auf Beton können als einziger Oberflächenschutz oder in Verbindung mit anderen Schutzmassnahmen eingesetzt werden. In letzterem Fall wird die Hydrophobierung in der Regel als erste Applikation unmittelbar auf die Betonoberfläche aufgebracht und mit filmbildenden Anstrichen o.ä. überstrichen. In diesem Fall dient die Hydrophobierung als Schutz des Betons bzw. Stahlbetons unter Fehlstellen (Blasen, Poren etc.) und schadhaften Stellen des äusseren Anstrichs. Bei diesen Systemaufbauten ist die Hydrophobierung gut vor atmosphärischen Einwirkungen geschützt und erreicht eine längere Nutzungsdauer, lässt sich aber nur nach Entfernung des Anstrichs erneuern.

Das vorliegende Merkblatt bezieht sich in erster Linie auf die Anwendung von Hydrophobierungen als einzigem Schutz von Betonoberflächen. Es kann sinngemäss auch auf Hydrophobierungen angewendet werden, die mit anderen Produkten überstrichen werden, wobei die Verträglichkeit der Hydrophobierung mit den anderen Komponenten des Oberflächenschutzes durch Eignungsnachweise belegt oder durch Vorversuche nachgewiesen werden muss.

Ebenso kann eine Hydrophobierung auch als äusserste Schicht auf einer Beschichtung (Anstrich), einem Instandsetzungsmörtel oder einem anderen Oberflächenschutzsystem appliziert werden. In diesem Fall ist die Hydrophobierung direkt den atmosphärischen Einwirkungen ausgesetzt und erreicht deshalb, wie in Kap. 2.1 angegeben, relativ kurze Nutzungsdauern.

2.5 Hydrophobierungen bei Instandsetzungen

Eine bestehende Hydrophobierung kann, wenn keine weiteren Instandsetzungsmassnahmen vorgesehen sind, nach Ablauf der festgelegten Nutzungsdauer bzw. bei nachlassender Schutzwirkung durch erneute Applikation des gleichen Produkts erneuert werden. Vor der erneuten Applikation der Hydrophobierung ist die Betonoberfläche mittels Hochdruck-Wasserstrahl (max. 850 bar) von Schmutzablagerungen und absandenden Partikeln zu reini-

gen. Die erneut zu hydrophobierende Betonoberfläche muss gemäss den Anforderungen in Kap. 4 für die Applikation vorbereitet werden.

Wenn im Rahmen einer Instandsetzung - etwa bei einer Reprofilierung - neue Komponenten wie Feinbeton, Mörtel, Beschichtungen oder Anstriche auf eine bestehende hydrophobierte Betonoberfläche aufgebracht werden, kann sich zwischen der hydrophobierten Oberfläche und der neuen Komponente infolge der noch vorhandenen hydrophobierenden Wirkung eine Trennschicht bilden, so dass die neuen Komponenten ungenügend auf dem Untergrund haften und der neue Systemaufbau keine ausreichende Kohäsion aufweist. Vorhandene Hydrophobierungen können deshalb, auch wenn sie nur noch teilweise vorhanden sind, die Haftung neu aufgetragener Beschichtungen und Instandsetzungsmörtel auf dem Altbeton verschlechtern und den Verbund des gesamten Instandsetzungsaufbaus gefährden.

Deshalb müssen bei der Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken eventuell vorhandene Hydrophobierungen in der Massnahmenplanung berücksichtigt werden, sofern diese nicht bereits durch den Ersatz des Altbetons vollständig entfernt werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass bestehende Hydrophobierungen je nach Produkt und Porosität des Altbetons mehrere mm oder cm tief eingedrungen sein können und durch Betonersatzmassnahmen an der Oberfläche nicht vollständig entfernt werden. Bei der Planung grösserer Instandsetzungen ist deshalb abzuklären, ob an den betroffenen Bauteilen bereits Hydrophobierungen appliziert worden sind und, falls dies der Fall ist, bis in welche Tiefe diese eingedrungen sind.

2.6 Hydrophobierungen in Verbindung mit Potenzialmessungen

Grundsätzlich sind Potenzialmessungen an hydrophobierten Betonoberflächen möglich, sofern eine (kleine) Mindestanzahl genügend tiefer Poren oder Risse vorhanden ist, die nicht vollständig hydrophobiert sind und an denen sich ein leitfähiger Messkreis bilden kann. Ebenso genügen auch sehr kleine nicht hydrophobierte Oberflächenanteile, wie sie bei praktischen Applikationen nicht ganz zu vermeiden sind, für die Potenzialmessung mit den heute verwendeten Elektroden.

Dabei kann auch der –wenn auch geringe – Druck eine günstige Auswirkung haben, mit der die gebräuchlichen Elektroden (Rad- und Stabelektroden) auf die Betonoberfläche aufgesetzt werden. An bewitterten Betonoberflächen wurde schon beobachtet, dass Regenwasser unter Winddruck kurzzeitig in hydrophobierten Beton eingedrungen ist. Durch den Aufsetzdruck der Elektroden kann das Wasser kurzzeitig ebenfalls in die Poren einer hydrophobierten Betonoberfläche gedrückt werden und eine leitfähige Verbindung herstellen, die nach dem wegnehmen der Elektrode wieder austrocknet.

Die obigen Voraussetzungen für die Potenzialmessung sind an realen hydrophobierten Betonoberflächen in der Regel erfüllt. Dabei ist davon auszugehen, dass die Potenzialmessung mit zunehmendem Alter und grösserer Durchlässigkeit der Hydrophobierung erleichtert wird – was wiederum dem zunehmenden Überprüfungsbedarf von älteren Bauteilen entgegenkommt. Gemäss SIA Merkblatt 2006:2013, Anhang A.2.7, erschweren hydrophobierte Betonoberflächen das Auffinden von Korrosionsherden mittels Potenzialmessung und führen grundsätzlich zu positiveren Potenzialen, d.h. zu einer Unterschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit. In früheren Ausgaben dieses SIA-Merkblatts wurde auch darauf hingewiesen, dass Hydropho-

bierungen – ebenso wie dünne Beschichtungen (Anstriche) – im Allgemeinen über Korrosionsherden durchlässiger sind als in Bereichen mit passiven Bewehrungen und die Detektion korrodierender Bereiche somit erleichtern.

Generell kann nicht à priori gesagt werden, ob eine vorhandene Hydrophobierung eine Potenzialmessung verunmöglicht, beeinflusst oder nicht tangiert, da die Wechselwirkungen von verschiedenen Parametern abhängen. Im Einzelfall muss daher vor Potenzialmessungen an hydrophobierten Betonoberflächen durch Vorversuche abgeklärt werden, ob die Resultate der Potenzialmessungen am Bauteil die Anforderungen gemäss dem SIA Merkblatt 2006, Ausgabe 2013, erfüllen. Sollten diese Anforderungen nicht erfüllt sein, sind die Resultate der Potenzialmessung nicht verlässlich und es ist von einer Potenzialmessung abzusehen.

2.7 Qualitätssicherung

Die Norm SIA 269/2:2011 unterscheidet die folgenden Prüfungsarten:

- Erstprüfung (vgl. Ziff. 3)
- Eignungsprüfung an Musterflächen (vgl. Ziff. 5)
- Qualitätsprüfung an Kontrollflächen (vgl. Ziff. 6)

Die Eignungsprüfung an Musterflächen und die Qualitätsprüfungen an Kontrollflächen sind im Leistungsverzeichnis enthalten. Alle Prüfungen haben im Auftrag der ausführenden Unternehmung durch ein akkreditiertes Prüflabor zu erfolgen.

3 Produkte / Erstprüfung

3.1 Produkte / Wirkstoffe

Die hydrophobierende Wirkung der aktuellen Produkte für die Anwendung auf Betonoberflächen beruht auf den siliziumorganischen Verbindungsgruppen der Silane und der Siloxane.

Silane und Siloxane sind niederviskose, farblose Flüssigkeiten, die in verschiedenen kommerziellen Produkten als wässrige Emulsion oder in annähernd reiner Form, häufig aber auch mit fein gemahlenden Mineralien angesteift als Pasten, Crèmes oder Gels, zur Anwendung gelangen. Die gebräuchlichen Produkte unterscheiden sich teilweise bezüglich ihres Wirkstoffgehalts, d.h. der Menge Silan bzw. Siloxan, die in einer Volumeneinheit des applikationsfertigen Produkts enthalten ist.

Entscheidend für die hydrophobierende Wirkung auf der Betonoberfläche und die Dauerhaftigkeit der Applikation ist die pro Flächeneinheit aufgebrauchte und vom Porensystem des Betons aufgenommene Wirkstoffmenge. Zur Bestimmung dieser Wirkstoffmenge müssen die effektiv aufgebrauchte Produktmenge und der Wirkstoffgehalt des applizierten Produkts bekannt sein.

Bei sehr dichten Betonoberflächen kann möglicherweise nicht die gesamte aufgebrauchte Produktmenge vom Beton aufgesogen werden. Das überschüssige Produkt fliesst über die Betonoberfläche ab oder bleibt auf der Oberfläche liegen, ohne eine Verbindung mit dem Unter-

grund einzugehen. In diesen Fällen sind die ungenutzten, verloren gegangenen Produktmengen so genau wie möglich abzuschätzen, um auf die vom Beton aufgenommene Menge schliessen zu können.

3.2 Anforderungen an die Produkte

Im Rahmen der Erstprüfung hat der Unternehmer nachzuweisen, dass die Hydrophobierung die Anforderungen gemäss der Tabelle NA.1 der Norm SN EN 1504-2:2004 erfüllt.

4 Untergrund

Die Vorbereitung des Untergrundes hat im Allgemeinen nach Angabe des Produktlieferanten zu erfolgen. Im Einzelfall ist sie zwischen PV/BL, Lieferant und Unternehmung auf Grund der Ergebnisse von Eignungsprüfungen an Musterflächen zu definieren.

Bei Hydrophobierungen der Klasse II gemäss der Klasseneinteilung in Kap. 2.1 mit einer Nutzungsdauer von mind. 10 Jahren muss der Untergrundbeton mindestens 28 Tage alt sein.

Temporäre Hydrophobierungen der Klasse I können in Einzelfällen für kleinere, schwach bis mittel beanspruchte Flächen auf Beton appliziert werden, der vor weniger als 28 Tagen ausgeschalt wurde. Voraussetzung für die Applikation einer temporären Hydrophobierung ist eine ausreichende Absenkung des hohen pH-Werts an der Oberfläche des frischen Betons, was im Kontakt mit der Atmosphäre nach wenigen Tagen der Fall sein kann. Im Einzelfall ist mit Versuchen zu prüfen, ob sich eine Hydrophobierung auf der jungen Betonoberfläche applizieren lässt oder ob der Wirkstoff abgestossen oder zersetzt wird.

Die Oberflächentemperatur des Untergrunds darf während der Applikation und während 12 h nach der Applikation nicht tiefer als +5° C und nicht höher als +30° C sein. Sie muss unmittelbar vor Beginn der Applikation und, bei länger dauernden Applikationen, in stündlichen Abständen mit einem geeigneten Oberflächenthermometer gemessen und protokolliert werden.

Die aufzubringenden Produkte – bei mehrkomponentigen Systemen jede einzelne Komponente – und eventuell erforderliches Wasser als Lösungsmittel müssen vor der Applikation so gelagert werden, dass ihre Temperatur bei Applikationsbeginn nicht tiefer als +5° C und nicht höher als +30° C liegt.

Durch geeignete Massnahmen auf der Baustelle (Abdeckungen, Container etc.) ist soweit möglich dafür zu sorgen, dass die für die Applikation verwendeten Werkzeuge und Geräte (insbesondere Schläuche, Pumpen und evtl. Mischer) zu Beginn und während der Applikation eine Temperatur im Bereich zwischen +5° C und +30° C aufweisen.

Während der Applikation und während 12 h nach der Applikation sind die hydrophobierten Oberflächen durch geeignete bauseitige Massnahmen (Folien, Blachen, temporäre Abdeckungen, temporäre Dächer, Einhausungen etc.) vor direkter Sonneneinstrahlung, Regen und starkem Wind zu schützen.

Die zu hydrophobierenden Oberflächen und die oberflächennahe Schicht müssen vor der Applikation soweit möglich trocken sein. Bei sichtbarer Feuchtigkeit an der Oberfläche, feuchtigkeitsbedingten Verfärbungen der Oberfläche, dunklen Säumen an Rissen und Lunkern etc. muss mit der Applikation zugewartet werden, bis diese Unregelmässigkeiten nicht mehr sichtbar sind. Als Richtwert kann davon ausgegangen werden, dass ein Wassergehalt von 4%

(zerstörungsfrei gemessen, beispielsweise mit dem Gerät „Proceq Hygropin“ oder an kleinen Probestückchen chemisch bestimmt mit dem CM-Gerät der Firma Riedel-de Haën) nicht überschritten werden sollte.

5 Eignungsprüfung an Musterflächen

5.1 Definition und Zweck

Eignungsprüfungen an Musterflächen dienen dem Nachweis der Werkstoffeignung am Bauteil, unter den spezifischen Anwendungsbedingungen und im Rahmen der gewählten Arbeitsabläufe, sowie als Muster für die Oberfläche. Die Ergebnisse der Applikationen an Musterflächen dienen als Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl des Oberflächenschutzsystems, der Produkte, der Applikationsmethoden und der Applikationsparameter. Musterflächen dürfen nach der Applikation nicht mehr verändert werden und sollen bis zum Bauende erhalten bleiben.

Musterflächen müssen auf jeden Fall angelegt werden,

- wenn (neue) Produkte erstmals für die Hydrophobierung von Beton eingesetzt werden,
- wenn die Formulierung bestehender Produkte geändert wurde,
- wenn (neue) Applikationsmethoden oder -geräte erstmals für die Hydrophobierung von Beton eingesetzt werden sollen,
- wenn spezifische Betonsorten bzw. Oberflächenqualitäten erstmals hydrophobiert werden sollen,
- wenn Umwelt- oder Nutzungsbedingungen vorkommen, unter denen die vorgesehenen Produkte auf dem gegebenen Untergrund bisher nicht eingesetzt worden sind
- wenn Erfahrungen aus der Praxis oder Forschungsergebnisse die Anwendung des vorgesehenen Produkts kritisch beurteilen lassen

Anhand von Musterflächen kann auch das geeignete Produkt bzw. die geeignete Applikationsmethode und die aufzubringende Produktmenge evaluiert werden.

Die hydrophobierende Wirkung am Bauwerk wird dabei anhand der Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels beurteilt und klassifiziert (siehe Tabelle 1 im Anhang). Dieses Kriterium ist – im Gegensatz zu den anderen bekannten Laborprüfungen von Hydrophobierungen - experimentell relativ einfach zu bestimmen und zu interpretieren (siehe Kap. 7.2.4), liefert zudem reproduzierbarere Resultate als der qualitative Sprühversuch (siehe Kap. 7.2.2).

Die Eindringtiefe und damit die hydrophobierende Wirkung am Bauwerk hängt, neben dem gewählten Produkt und den Applikationsparametern, von den Eigenschaften des Betons, insbesondere von seiner Porosität, ab. Mit zunehmender Porosität des Betons nimmt die Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels unter konstanten Bedingungen zu, wobei der Zusammenhang nicht linear ist.

Um eine ausreichende Langzeit-Schutzwirkung zu gewährleisten, sind die Anforderungen an die Eindringtiefe eines Hydrophobierungsmittels deshalb abhängig von den Eigenschaften des zu schützenden Betons zu formulieren. Zurzeit ist noch keine praxistaugliche Norm verfügbar, die die Anforderungen an die Eindringtiefe für unterschiedliche Betonqualitäten definiert. In der Regel wurden bisher fixe Mindestwerte der Eindringtiefe für alle Betonqualitäten vorgegeben. Im vorliegenden Merkblatt werden neu, abhängig von der Betonporosität, bestimmte Mindest-Eindringtiefen als Zielwert gefordert. Dieses Vorgehen berücksichtigt die Eigenschaften des

Betons besser als die Vorgabe fixer Mindestwerte der Eindringtiefe für alle Betonqualitäten, so dass das Hydrophobierungsmittel effizienter eingesetzt wird. Als Mass für die Betonporosität dient in erster Näherung der W/Z-Wert des Betons, der bei neuerem Beton meist aus der Rezeptur bekannt ist. In der Tabelle 1 im Anhang werden für Hydrophobierungen der Klasse II orientierende Zielwerte der zu erreichenden Mindest-Eindringtiefen des Hydrophobierungsmittels für unterschiedliche W/Z-Werte des Betons angegeben.

Für Hydrophobierungen der Klasse I erscheint eine derartige Einteilung hingegen nicht als zweckmässig, da die zu bestimmenden Eindringtiefen bzw. ihre Differenzen zu gering sind, um eine eindeutige Unterscheidung zu ermöglichen. Der einheitliche Zielwert in Tabelle 1 von mindestens 2 mm dürfte für die reduzierten Anforderungen der Klasse I ausreichend sein.

5.2 Durchführung

Bei Flächen über 500 m² muss eine Eignungsprüfung an Musterflächen durch den Unternehmer durchgeführt werden.

Die Applikation an Musterflächen muss mindestens 3 Wochen vor Beginn der eigentlichen Hydrophobierungsarbeiten erfolgen. Wird eine flächendeckende wasserabstossende Wirkung (Abperleffekt), eine Eindringtiefe von mindestens 10 mm (für Klasse II) bzw. bis 10 mm (für Klasse I) und eine Reduktion der Wasseraufnahme um mindestens 50% (gemessen an Bohrkernen) erreicht, kann mit der Hydrophobierung der gesamten Betonoberfläche begonnen werden.

5.3 Musterflächen

Im Regelfall ist eine Musterfläche, bei unterschiedlichen Untergründen oder Applikationsparametern sind mehrere Musterflächen von je ca. 2 m² zu hydrophobieren.

Qualität und Vorbehandlung des Untergrundes sowie Applikationsmethode und -parameter an den Musterflächen müssen soweit möglich den Verhältnissen des gesamten Applikationsbereichs entsprechen. Die Applikationsparameter sind für jede Musterfläche zu dokumentieren.

6 Qualitätsprüfung an Kontrollflächen

6.1 Definition und Zweck

Qualitätsprüfungen an Kontrollflächen dienen dem Nachweis der geforderten Qualität am Objekt während und nach der Ausführung.

6.2 Durchführung

Die Eigenüberwachung durch den Unternehmer während und nach der Ausführung erfolgt an Kontrollflächen.

Bei Bauteilen / Objekten mit Musterflächen erfolgt auch ein Qualitätsnachweis der Hydrophobierung an Kontrollflächen. Ihre Lage ist zu dokumentieren.

6.3 Kontrollflächen

Die Kontrollflächen müssen im gleichen Arbeitsgang appliziert werden und dürfen sich bezüglich Qualität und Vorbehandlung des Untergrundes sowie Applikationsmethode und –parameter nicht massgeblich von den restlichen hydrophobierten Oberflächen unterscheiden.

Die Lage der Kontrollflächen muss bezüglich Exposition und Beanspruchung für die hydrophobierten Oberflächen repräsentativ sein. Die BL legt in Rücksprache mit dem PV die Lage der Kontrollflächen fest.

7 Prüfverfahren

7.1 Grundlagen

Im Lauf der Einführung der Hydrophobierungen in die Baupraxis sind diverse Verfahren für die Überprüfung ihrer Wirksamkeit und ihrer korrekten Applikation entwickelt und propagiert worden. Die Mehrzahl davon hat sich in der Praxis als zu wenig aussagekräftig, oder als nicht mit anderen Prüfungen vergleichbar, oder als zu aufwändig, oder aus anderen Gründen als nicht praktikabel erwiesen.

Allgemein anerkannte und auf breiter Basis für Eignungsprüfungen und Qualitätsprüfungen angewendet werden im gegenwärtigen Zeitpunkt vier relativ leicht zu überprüfende Kriterien für die Beurteilung von fertig applizierten Hydrophobierungen:

- die aufgebrachte Produktmenge bzw. die aufgebrachte Wirkstoffmenge
- die flächendeckende hydrophobierende Wirkung an der Oberfläche
- die Reduktion der Wasserdurchlässigkeit des hydrophobierten Betons
- die Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels in den Beton

7.2 Rahmenbedingungen für die Prüfungen

Die Entnahme der Probekörper darf, sofern vom Lieferanten nichts Anderes vorgegeben wird, frühestens 3 Tage nach der Applikation der Hydrophobierung erfolgen.

Bei den Eignungsprüfungen und den Qualitätsprüfungen werden an den Prüfflächen am Bauwerk und an den daraus entnommenen Prüfkörpern die folgenden Prüfverfahren angewendet:

7.2.1 Aufgebrachte Produktmenge

Die applizierte Menge des Hydrophobierungsprodukts, die entsprechenden Vorgaben des Herstellers, die hydrophobierte Fläche und deren Orientierung sowie die Hydrophobierungsparameter (Lufttemperatur, Betontemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wassergehalt des Betons, Applikationsgeräte, bei Spritzapplikation Spritzdruck und Durchfluss) müssen durch den Unternehmer erfasst und daraus der mittlere Materialauftrag pro Flächeneinheit berechnet werden. Der Materialverbrauch in g/m² ist zu dokumentieren.

7.2.2 Flächendeckende Wirkung

Der nachfolgend beschriebene Nachweis der flächendeckenden hydrophobierenden Wirkung durch Aufsprühen von Wasser ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Wirksamkeit einer Hydrophobierung. Erst in Verbindung mit den Prüfungen bezüglich Wasserdurchlässigkeit und Eindringtiefe kann der Sprühversuch als Kriterium für die Beurteilung der Qualität einer Hydrophobierung beigezogen werden. Weil der Sprühversuch einfach durchzuführen ist und das Ergebnis praktisch sofort ersichtlich ist, ist dieser Versuch in der Regel der erste Schritt bei der praktischen Überprüfung einer Hydrophobierung.

Mit einer feinen Sprühdüse werden die hydrophobierten Oberflächen gleichmässig mit Wasser besprüht. Unmittelbar nach dem Aufsprühen wird visuell überprüft, ob das Wasser an der Oberfläche abperlt oder aufgesogen wird. Der Zeitpunkt des Sprühversuchs und die Rahmenbedingungen (Betonfeuchtigkeit vor Wasserapplikation, Luft- und Betontemperatur, Sonneneinstrahlung, Windeinwirkung, Luftfeuchtigkeit) sind zu protokollieren.

Visuelle Beurteilung und Dokumentation des Abperleffekts. Die besprühte Betonoberfläche ist 1 h, 4 h, 8 h und 24 h nach dem Sprühversuch erneut visuell zu beurteilen.

Einige Hydrophobierungsmittel erzeugen, auch wenn sie sachgemäss und in ausreichender Menge aufgebracht werden, keinen sichtbaren Abperleffekt. Ihre hydrophobierende Wirkung wird dadurch nicht beeinträchtigt, sie kann aber nur anhand der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit überprüft werden. Im Zweifelsfall ist anhand der Beobachtung des Verhaltens an der Musterfläche abzuklären, ob nach der Applikation die flächendeckende Wirkung mittels Abperleffekt überprüfbar ist.

An sehr dichten Betonoberflächen – die beispielsweise durch die Verwendung von Silicafume oder Dichtungsmitteln erzeugt worden sind – kann das Hydrophobierungsmittel eventuell nicht in das Porensystem des Betons eindringen und kann sich auch nicht auf der Oberfläche verankern. In diesen Fällen kann kein oder nur ein unvollständiger Abperleffekt beobachtet werden. Der betreffende Beton würde aber auch ohne Hydrophobierung sehr wenig Wasser aufnehmen – in einem solchen Fall wäre eine Hydrophobierung eine unnötige und unwirtschaftliche Massnahme. Bei dichten Betonen ist deshalb vorgängig abzuklären, ob die Wasseraufnahme durch eine Hydrophobierung noch signifikant reduziert werden könnte.

7.2.3 Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit w

Die Bestimmung erfolgt nach SN EN 1062-3:2008. Als Probekörper dienen 3 Bohrkernabschnitte

D = 100 mm mit einer Dicke von ca. 50 mm, ausgehend von der hydrophobierten Oberfläche.

Angabe der Wasserdurchlässigkeit w in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$.

7.2.4 Bestimmung der Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels

Die Bestimmung erfolgt visuell durch Aufsprühen von Wasser auf eine frische, trockene Betonbruchfläche und ausmessen der Tiefe des wasserabweisenden Bereichs. Als Probekörper dienen 3 Bohrkernabschnitte D = 100 mm oder D = 50 mm mit einer Dicke von ca. 50 mm, ausgehend von der hydrophobierten Oberfläche. Die Spaltung der Bohrkern erfolgt durch einen Spaltzugversuch nach SN EN 12390-6:2009 (bekannt als „Brasilianerversuch“). Die

Tiefe des trockenen hydrophobierten Bereichs nach Spaltung des Bohrkerns wird als Mittelwert aus mindestens 8 Messungen bestimmt.

Alternativ kann die Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels auch durch die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit w nach Ziff. 7.2.3 an Bohrkernen, die auf unterschiedliche Längen geschnitten wurden, in Abstufungen von 10 mm ausgehend von der Oberfläche sowie im unhydrophobierten Kernbereich ermittelt werden. Als Eindringtiefe der Hydrophobierung gilt die Tiefe, ausgehend von der ursprünglichen Betonoberfläche, in der die Hydrophobierung noch mindestens eine 50%-ige Reduktion der Wasserdurchlässigkeit im Vergleich zum unhydrophobierten Bereich des Bohrkerns bewirkt.

8 Prüfberichte

8.1 Eignungsprüfung an Musterflächen und Qualitätsprüfung an Kontrollflächen

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- Auftraggeber
- Bauleitung
- Strassenzug, Objekt
- Bauteil, Skizze mit Angabe Muster- bzw. Kontrollfläche sowie Art und Alter Untergrund
- Applikationsangaben: Datum, Produkt, aufgebrauchte Menge, Applikationsmethode
- Probenehmer
- Prüfdatum
- Ergebnisse und Beurteilung

Für die Beurteilung der Ergebnisse sind die Umweltbedingungen bei der Applikation festzuhalten (Temperatur Luft und Oberfläche, relative Luftfeuchtigkeit, Untergrundfeuchtigkeit).

9 Kontrolle und Unterhalt

Hydrophobierungen weisen im Vergleich zu anderen Komponenten eines Bauwerks eine kurze Nutzungsdauer auf. Diese ist nicht à priori im Sinn einer Materialkonstante festgelegt, sondern hängt vom Untergrund, den Applikationsparametern und den Nutzungsbedingungen ab. Da noch wenig Langzeituntersuchungen mit den heute eingesetzten Produkten vorliegen, lassen sich neben der in Kap. 2.1 aufgeführten Mindestnutzungsdauer von 10 Jahren für Hydrophobierungen der Klasse II keine weiteren allgemein gültigen bzw. verbindlichen Anforderungen oder Grenzwerte für die Nutzungsdauer formulieren. Als Richtwert wird zurzeit für aktuelle Produkte auf Grund der bisherigen Erfahrungen eine Nutzungsdauer in der Grössenordnung von 20 Jahren als realistisch angesehen. Dem Nachteil der kurzen Nutzungsdauern

steht der Vorteil gegenüber, dass eine Hydrophobierung mit relativ geringem Aufwand und vertretbaren Kosten zu jedem Zeitpunkt in kurzer Zeit erneuert werden kann.

9.1 Kontrolle

Für die optimale Nutzung der Lebensdauer einer Hydrophobierung und die Planung ihrer rechtzeitigen Erneuerung muss der Zustand bzw. die Wirksamkeit einer Hydrophobierung periodisch überprüft werden. Damit wird sichergestellt, dass die Erneuerung ausgeführt wird, bevor Schäden im Stahlbeton auftreten, die einen zusätzlichen Instandsetzungsaufwand zur Folge haben. Die Überprüfung sollte mindestens alle 5 Jahre erfolgen. Sie wird an den Kontrollflächen gemäss Ziff. 6.3 ausgeführt und erfolgt durch Aufsprühen von Wasser und visuelle Erfassung und Dokumentation des Abperleffekts.

Wenn bei der Überprüfung an bis zu 50% der besprühten Kontrollflächen kein Abperleffekt beobachtet werden kann, ist zusätzlich in den Bereichen ohne Abperleffekt die wirksame Eindringtiefe zu bestimmen. Erreicht diese im Mittel die Anforderungen gemäss Tabelle 1 nicht, ist die Hydrophobierung in der Regel innert der nächsten 5 Jahre zu erneuern.

9.2 Unterhalt

Hydrophobierte Oberflächen erfordern keinen spezifischen Unterhalt, der das Ausmass der üblichen Reinigungsmassnahmen an Infrastrukturbauten übersteigt. Durch regelmässige Reinigung kann die Wirksamkeit und die Nutzungsdauer von Hydrophobierungen verbessert werden, da abperlendes Wasser ungehindert abfliessen kann und die Betonoberfläche rasch austrocknen kann. Unter Schmutzschichten etc. kann sich hingegen ein permanent feuchtes Milieu bilden, in dem auch Schadstoffe aus dem Strassenraum aufkonzentriert werden und trotz Hydrophobierung zu Betonschäden führen können.

Die im Unterhalt von Verkehrsbauten üblichen trockenen und nassen Reinigungsmethoden haben im Normalfall keinen relevanten Einfluss auf die Wirksamkeit und auf die Nutzungsdauer von Hydrophobierungen.

Durch aggressivere Reinigungsmethoden wie Heisswasser- und Dampfstrahlen kann die Hydrophobierung geschädigt werden, bzw. ihre Alterung beschleunigt werden. Diese Reinigungsmethoden sollten auf hydrophobierten Betonoberflächen nur eingesetzt werden, wenn keine alternativen Methoden möglich sind. Ihre Einwirkungszeit und -fläche ist zu minimieren und die Wirksamkeit der Hydrophobierung ist nach der Reinigung durch Aufsprühen von Wasser zu überprüfen. Je nach Ergebnis dieser Überprüfung ist die Hydrophobierung in der Regel innert 5 Jahren, zumindest in Teilbereichen, zu erneuern.

Durch abrasive Reinigungsmethoden wie Höchstdruck-Wasserstrahlen, Sandstrahlen, Wasser-Sand-Strahlen oder Schleifen kann eine Hydrophobierung ihre Wirkung einbüßen. Abrasive Verfahren sind deshalb an hydrophobierten Betonoberflächen zu vermeiden. Falls trotzdem ein abrasives Verfahren angewendet wird, ist die gereinigte Betonoberfläche anschliessend vollflächig neu zu hydrophobieren.

Anhang A

Grundprüfungen an hydrophobierten Betonoberflächen

Grundprüfung	Normen	Anforderungen
Flächendeckende Wirkung	-	Klasse I: Abperlen von Wasser auf mindestens 90% der behandelten Oberfläche Klasse II: Abperlen von Wasser auf mindestens 95% der behandelten Oberfläche
Eindringtiefe	SN EN 1504-2:2004 (SN EN 1766:2000 SN EN 13579:2002)	Klasse I: > 2 mm Klasse II: W/Z ≤ 0.40 ≥ 5.0 mm W/Z 0.40 – 0.45 ≥ 7.0 mm W/Z 0.45 – 0.55 ≥ 9.0 mm W/Z ≥ 0.55 ≥ 10.0 mm
Wasserdurchlässigkeit w	SN EN 1062-3:2008	Klasse I: $w < 0.10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ Klasse II: W/Z ≤ 0.40 $w \leq 0.025 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ W/Z 0.40 – 0.45 $w \leq 0.030 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ W/Z 0.45 – 0.55 $w \leq 0.035 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ W/Z ≥ 0.55 $w \leq 0.055 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$
Widerstandsfähigkeit nach Frost-Tausalz-Wechselbeanspruchung	SN EN 13581:2002	Klasse I: keine Anforderungen Klasse II: Ein Masseverlust an der Oberfläche des hydrophobierten Probekörpers muss mindestens 20 Zyklen später auftreten als bei einem unbehandelten Probekörper
Wasseraufnahme- und Alkalibeständigkeitsprüfung	SN EN 13580:2002	Klasse I: keine Anforderungen Klasse II: Absorptionskoeffizient ohne Alkalieinwirkung: *AR < 7.5 % Absorptionskoeffizient nach Eintauchen in Alkalilösung: **AR _{alk} < 10 %

Tabelle 1: Grundprüfungen und Anforderungen an hydrophobierte Betonoberflächen

Oberer Tabellenteil: Prüfungen am Bauwerk

Mittlerer Tabellenteil: Prüfungen im Labor an Proben aus dem Bauwerk

Unterer Tabellenteil: Prüfungen im Labor an Laborproben

Anmerkung:

* Die Wasseraufnahme eines hydrophobierten Prüfkörpers darf max. 7.5% der Wasseraufnahme eines unbehandelten Prüfkörpers betragen (AR < 7.5%).

** Wurde der hydrophobierte Prüfkörper in Alkalilösung gelagert, darf seine Wasseraufnahme max. 10% der Wasseraufnahme eines unbehandelten Prüfkörpers betragen (AR_{alk} < 10 %).