

Grundlagen und Möglichkeiten einer Hydrophobierung von Betonbauteilen

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
Stefan Meier
Dipl. Bau-Ing. ETH
geboren am 30. Mai 1972
von Eptingen BL, Riehen BS und Basel BS

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. F.H. Wittmann (Referent)
Prof. Dr. H. Böhni (Korreferent)
Prof. Dr. K. Littmann (Korreferent)
Herrn Manuel Schmid (Korreferent)

Zusammenfassung

Zementgebundene Werkstoffe wie Mörtel und Beton sind nutzungsbedingt einer dauernd wachsenden Umweltbelastung ausgesetzt. Insbesondere Infrastrukturbauwerke des Straßenbaus wie Brücken oder Tunnel müssen häufig bereits nach einer kurzen Nutzungsdauer mit erheblichem Aufwand instandgesetzt werden.

Zementgebundene Werkstoffe haben ein weitverzweigtes Porensystem, welches in der Lage ist, Flüssigkeiten rasch und in beträchtlicher Menge kapillar aufzunehmen. Sämtliche wichtigen Schadensmechanismen an Stahlbetonbauwerken stehen in direktem oder indirektem Zusammenhang mit Wasser.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Wirksamkeit einer Hydrophobierung zu erkennen, zu quantifizieren und damit die Grundlagen für eine erfolgreiche Planung und Durchführungen zu schaffen. Weiter sollten die Möglichkeiten und Grenzen dieser Massnahme untersucht und aufgezeigt werden, um ein zielgerichtetes Vorgehen zu ermöglichen,

Um die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Erfolg einer Hydrophobierung erkennen zu können, wurden an einem Praxisobjekt umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Betonfeuchtigkeit, die Betonqualität und das Alter wesentlichen Einfluss auf das Penetrationsverhalten des Hydrophobierungsmittels haben. Aus der Literatur war bekannt, dass zudem der Wirkstofftyp und die Applikationstechnik weitere wichtige Faktoren sind. In Laborexperimenten wurden diese Faktoren einzeln und in Kombination untersucht. Es hat sich herausgestellt, dass die Betonqualität und die Feuchtigkeitsverteilung entscheidenden Einfluss haben, während das Betonalter und die Zementart eher von untergeordneter Bedeutung sind. Betone, welche mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von mehr als 85% im Gleichgewicht stehen können nicht mehr zuverlässig hydrophobiert werden. Bei Betonen mit einem W/Z-Wert von unter 0.50 verhindern bereits Gleichgewichtsfeuchtigkeiten von 75% und mehr eine erfolgreiche Hydrophobierung.

Eine an die Anforderungen angepasste Technik ist wesentlich für eine erfolgreiche Applikation. In einer Reihe von Experimenten wurden unterschiedliche Applikationsarten miteinander verglichen. Es stellte sich heraus, dass die in der Praxis weit verbreitete Nass-in-Nass Applikation von flüssigen Systemen in den meisten Fällen die Anforderung nicht erfüllen kann. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden neue Methoden der Applikation entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass eine Vorhydrophobierung eine geeignete Massnahme der Vorbehandlung ist und damit die erzielbaren Eindringtiefen wesentlich erhöht werden können.

Durch eine Nachbehandlungsmassnahme können die wirksame Eindringtiefe und der Wirkstoffgehalt in der oberflächennahen Betonrandzone erheblich erhöht werden. So konnte die wirksame Eindringtiefe um mehr als 50% erhöht und der Wirkstoffverlust infolge Verdunstung von teilweise über 80% mit einer Nachbehandlung auf unter 7% reduziert werden. Damit erhöht eine Nachbehandlung insbesondere bei dichten Betonen die Erfolgchancen einer Hydrophobierungsmassnahme entscheidend.

Mit zyklischen Belastungsversuchen mit Chloridlösung wurde der Widerstand gegen Chlorideindringung von unbehandelten und unterschiedlich hydrophobierten Versuchskörpern untersucht. Die Ergebnisse belegen, dass mit einer richtig ausgeführten Hydrophobierung eine zuverlässige Chloridbarriere erzielt werden kann. In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Einfluss einer Hydrophobierung auf bereits korrodierende Bewehrung unter-

sucht. Unter einer zyklischen Chloridbelastung konnte der Korrosionsstrom durch eine Hydrophobierung auf ca. 20% der unbehandelten Versuchskörpern reduziert werden.

Eine Hydrophobierung hat einen erheblichen Einfluss auf den Feuchtigkeitshaushalt und die Trocknungsgeschwindigkeit von direkt und indirekt bewitterten Bauteilen. Damit kann eine Beeinflussung einzelner Werkstoffeigenschaften nicht ausgeschlossen werden. Entsprechende Untersuchungen ergaben, dass durch eine Hydrophobierung die Feuchtigkeitsaufnahme zwar sehr stark reduziert wird, dass aber die hygrischen Verformungen nur unwesentlich beeinflusst werden. Der Einfluss auf mechanische Eigenschaften äussert sich dahingehen, dass die Bruchenergie um ca. 30% reduziert wird, die Druckfestigkeit jedoch unverändert bleibt.

Um die Wirksamkeit einer hydrophobierenden Massnahme beurteilen zu können, wurden neue Methoden zur Qualitätsüberwachung erarbeitet. Zur Bestimmung der wirksamen Eindringtiefe ist die Aufnahme von Saugprofilen eine geeignete Methode. Im Rahmen dieser Arbeit wurde, unter Berücksichtigung der wesentlichen Transportmechanismen, ein Wirksamkeitskriterium entwickelt, welches unabhängig vom W/Z-Wert angewendet werden kann. Zur Bestimmung der Wasseraufnahmekoeffizienten einer Bauteiloberfläche wurde mit der Zweikammer-Messzelle ein Instrument entwickelt, mit welchem mit geringem Aufwand wichtige Aussagen zur Flüssigkeitsaufnahme gemacht werden können.

Mit den Ergebnissen dieser Arbeit wurden die Grundlagen für eine ingenieurmässige Anwendung der Technologie des Hydrophobierens geschaffen. Die wesentlichen Parameter für die Planung, die Ausführung und die Qualitätsüberwachung wurden untersucht und quantifiziert.

Abstract

During their usage cement based materials such as mortar or concrete are exposed to ever increasing environmental loads. Traffic structures such as bridges or tunnels in particular often need expensive restoration after merely a brief period in use.

Cement based materials have a highly ramified pore system, capable of rapidly absorbing significant amount of water through capillaries. All major damage mechanisms affecting reinforced concrete structures are directly or indirectly linked to water. This work researches on the adequacy of a water repellent treatment as a surface technological measure to enduringly enhance durability of reinforced concrete structures.

Goal of this work is the identification and quantification of the essential parameters influencing the effectiveness of a water repellent treatment, defining thereby the fundamentals for successful planing and realisation. Moreover in order to guarantee an effective approach potentials and limitations to this measure were to be investigated and analysed. The essential parameters for a successful water repellent treatment were determined through extensive investigations on structures in use. It could be shown that humidity of concrete, its quality and age have a strong influence on penetration behaviour of a water repellent treatment. References in literature indicated the type of agent and the application technique as further important factors. Laboratory investigations analysed these factors individually and in combination. Quality of concrete and distribution of humidity proved highly influential whereas the age of concrete and the type of cement being used merely played a minor role. Concrete specimen at equilibrium in a climate of more than 85% of relative humidity can no longer be reliably treated with water repellent treatment. For concrete mixtures with a water/cement-ratio lower than 0.50 a successful water repellent treatment can only be guaranteed when stored below 75% of relative humidity.

For a successful application it is essential to choose the application technique accordingly to the requirements. In a series of experiments different application techniques were compared. It could be shown that wet-in-wet-application, though quite frequent in practice, most often didn't satisfy the requirements. Based on these results new ways of application have been developed. It could be shown that a preparatory water repellent treatment constitutes an adequate measure of surface preparation and significantly increases the effective penetration depth achieved.

Curing can also strongly increases the effective penetration depth and the content of active agent inside the marginal concrete zone. Thus the effective penetration depth could be increased by more than 50% while the loss of active agent due to evaporation was reduced from 80% to less than 7%. In particular for dense concrete surfaces curing significantly enhances conditions for a successful water repellent treatment.

Resistance against chloride penetration was investigated through cyclic exposure of untreated specimen on one hand and differently treated specimen on the other hand to solved chlorides. Results show that a reliable barrier to chlorides can be achieved through a properly executed water repellent treatment. In a further series the influence of a water repellent treatment in case of yet corroding reinforcement has been investigated. With cyclic exposure to chlorides corrosion rate could through water repellent treatment be reduced to about 20% as compared to the untreated specimen.

A water repellent treatment significantly influences the humidity household and drying speed of structural elements directly or indirectly exposed to weathering. This does not exclude an influence on the different material properties. Corresponding investigations showed that though water repellent treatment strongly reduces humidity uptake, hygral deformation only slightly varies. The influence on mechanic properties materialises in a reduction of fracture energy of about 30% while compressive strength remains unchanged.

New methods of quality survey have been developed to evaluate the effectiveness of a water repellent treatment. Measurement of absorption profiles qualifies for determining the effective penetration depth. While respecting all major transport mechanisms this study develops a criteria for effectiveness which can be used independently of the water/cement-ratio. The instrument developed for measuring water uptake of a structural surface is a cell composed of two chambers offering important insights on water uptake with little expense.

The results of this study define the fundamentals for the application of the technology of water repellent treatment in engineering. The major parameters for planning, realisation and quality control have been analysed and quantified.