

Diss ETH Nr. 14317

TRANSPORT UND CHEMISCHE REAKTION SILICIUMORGANISCHER VERBINDUNGEN IN DER BETONRANDZONE

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

ANDREAS HERMANN GERDES

Diplom-Chemiker
Technische Universität Clausthal
geboren am 04. April 1962
von Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. F.H. Wittmann, Referent
Prof. Dr. J. Grobe, Korreferent
Dr. G. Kahr, Korreferent

Zürich 2001

Zusammenfassung

Stahlbetonbauwerke sind äusseren Einwirkungen, wie z.B. betonaggressiven Wässern ausgesetzt, die die Nutzungsdauer erheblich beeinflussen können. Die Hydrophobierung zementgebundener Werkstoffe mit Silanen ist eine leistungsfähige Methode, das Eindringen von in Wasser gelösten Schadstoffen durch kapillares Saugen zu verhindern. Voraussetzung für langfristig wirksame Hydrophobierungen sind aber hohe Eindringtiefe und Wirkstoffgehalt in der Betonrandzone, die durch ein Wirkstoffprofil charakterisiert werden kann.

In der vorliegenden Arbeit wurden Einflussfaktoren untersucht, die den Transport von Silanen in Betonen mit unterschiedlichen W/Z-Werten und damit das Wirkstoffprofil massgeblich bestimmen. Zu den untersuchten Faktoren gehören die Kontaktdauer zwischen Werkstoff und Silan, die chemische Struktur der eingesetzten Silane und die Art eines eventuell verwendeten Lösungsmittels. Davon ausgehend wurden Grössen definiert, die die Wirksamkeit dieser Hydrophobierung charakterisieren. Mit diesen Daten kann eine Hydrophobierung gezielt geplant und überprüft werden.

Für die Beschreibung der kapillaren Flüssigkeitsaufnahme durch poröse Werkstoffe des Bauwesens wird häufig ein Wurzel-t-Gesetz verwendet. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass beim untersuchten Propyltriethoxysilan für eine Kontaktzeit bis zu 4 Stunden und beim iso-Butyltriethoxysilan bzw. n-Octyltriethoxysilan bis zu 8 Stunden ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Aufnahmemenge und der Wurzel der Kontaktdauer festzustellen ist. Nach dieser Zeit ist eine silanabhängige Abweichung vom idealen Verhalten zu beobachten, die auf physikalisch-chemische Reaktionen während des Transportes zurückzuführen ist.

Aus ökologischen Gründen wurden in den vergangenen Jahren neben den reinen Silanen zunehmend niedrigviskose wässrige Emulsionen für die Betonhydrophobierung verwendet. Erfahrungen aus der Praxis und Laborergebnisse haben aber gezeigt, dass die Wirkstoffeindringtiefe auch bei Kontaktzeiten von bis zu 24 Stunden 1 mm nicht übersteigt. Die Ursache sind physikalisch-chemische Effekte, die zum Brechen der Emulsion auf der Betonoberfläche führen und durch die Silanaufnahme behindern. Wässrige Emulsionen sind daher für die Hydrophobierung feinporöser Werkstoffe nicht geeignet.

Für die gezielte Anwendung einer Hydrophobierung in der Praxis ist die Überprüfbarkeit der Wirksamkeit von entscheidender Bedeutung. Daher wurden ausgehend von den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen als Messgrössen die Wirksamkeit, die wirksame Eindringtiefe und der minimale Wirkstoffgehalt neu definiert. Diese Grössen wurden hinsichtlich ihrer Abhängigkeit vom W/Z-Wert des zu hydrophobierenden Betons und der Struktur des verwendeten Silans untersucht. Mit diesen neu eingeführten Grössen kann

auf den sogenannten „tailing“-Effekt zurückzuführen ist. Da aber die Kontaktzeiten für wirksame Eindringtiefen von ca. 5 mm bei Betonen mit höheren W/Z-Werten im Bereich weniger Stunden liegen, kann der „tailing“-Effekt in diesem Fall vernachlässigt werden.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen, wurde für den Ingenieur ein Konzept für die Planung hydrophobierender Massnahmen entwickelt, das in der Praxis bereits an einer Reihe von Objekten erfolgreich erprobt wurde, wie an ausgewählten Beispielen gezeigt werden kann.

Abstract

In practice concrete structures are often exposed to various environmental impacts which can determine strongly the service life. The treatment of concrete structures with silanes is a powerful method to prevent the uptake of aqueous salty solutions by capillary suction. For the long-term performance of an impregnation the penetration depth and content of active substance in the covercrete which can be characterised by penetration profiles is crucial.

In the thesis presented here the factors influencing the transport of silanes in the covercrete of concrete made with different w/c ratios have been investigated. In particular these factors are the duration of contact between silane and concrete surface, the chemical structure of the investigated silanes and the type of solvents possible used. Concerning to the results of this investigation parameters are defined in order to characterise the performance of an impregnation. These parameters can be used for planning and performance control of a treatment.

The capillary uptake of liquids by porous building materials can be approximately calculated with the square-root-of time-law. In this investigation are shown that the transport of propyl triethoxysilane for a duration of contact of 4 hours, respectively the transport of iso-butyl triethoxysilane and n-octyl triethoxy silane for a duration of contact of 8 hours can be described with this law sufficiently. For a duration of contact higher than 8 hours a significant deviation depending strongly on the chemical reactivity of the silanes from the ideal behaviour can be observed.

So far aqueous silane emulsions with low viscosity are applied on concrete for ecological reasons. But, practical experiences and results from experiments carried out in the laboratory have shown that the penetration depth is also for a duration of contact longer than 24 hours not higher than 1 mm. Reasons for these results are physical-chemical effects which lead to the break of the emulsion on the concrete surface. As a result of the phase separation only water penetrates into the covercrete, while the silane evaporates on the concrete surface.

For successful applications of water repellent treatments in practice the development of stringent quality control concepts is decisive. For this reason parameters such as performance criteria, effective penetration depth and minimum content of active substance have been defined for the first time. For these new parameters their dependence on w/c ratio and chemical structure of the silanes has been investigated. Civil engineers can use these proposed parameters for planning an impregnation, checking the application and controlling the quality of the treatment.

One goal of this thesis is the development of a tool which can be used by civil engineers to calculate the duration of contact for a given penetration depth. With data from experiments the theoretical penetration depth can be calculated. The results of these calculations show that for a duration of contact of 24 hours the effective penetration depth can

Concerning to the results presented in this thesis a concept for the application of water repellent agents on concrete has been developed. This concept is already applied successful on different structures in practice as shown with selected examples.