



Doctoral Thesis

Online-Monitoring zur Erfassung der Korrosion der Bewehrung von Stahlbetonbauten

Author(s):

Schiegg, Yves

Publication Date:

2002

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004319266> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Online-Monitoring zur Erfassung der Korrosion der Bewehrung von Stahlbetonbauten

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
YVES SCHIEGG
Dipl. Bauingenieur ETH Zürich
geboren am 30. Januar 1966
von Steckborn TG

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. Böhni, Referent
Dr. F. Hunkeler, Korreferent

Zusammenfassung

Chloride aus Tausalzen sind eine der Hauptursachen für Korrosionsschäden an Stahlbetonbrücken und anderen Verkehrsbauten. Korrosionsprozesse bei Stahlbetonbauten sind komplexe Vorgänge, die durch die Interaktion der Umgebungsbedingungen mit dem Beton massgebend beeinflusst werden. Aus diesem Grund war eine theoretische Voraussage des Korrosionsfortschritts bis heute kaum möglich oder mit grossen Unsicherheiten behaftet. Es war das Ziel dieser Arbeit, die massgebenden Parameter für die Bewehrungskorrosion an Bauwerken zu erfassen und zu beurteilen sowie Grundlagen über den Korrosionsfortschritt zu liefern, die dem Ingenieur eine bessere Prognose der Entwicklung des Korrosionszustandes der Bewehrung erlauben. Es war ausserdem das Ziel, eine Messtechnik für die kontinuierliche Erfassung korrosionsrelevanter Messgrössen und die Erfassung der Zustandsentwicklung von Stahlbetonbauten (Überwachung) zu entwickeln und zu erproben (Online-Monitoring).

Für die Untersuchungen zum Korrosionsfortschritt an Bauwerken wurde eine auf Sensortechnik basierende Bauteilinstrumentierung entwickelt, welche die wesentlichen Parameter der ablaufenden Prozesse möglichst gut erfasst. Die Instrumentierung besteht aus Chlorid- und Widerstandssensoren sowie isolierten, aktiven Bewehrungsstäben, die in Bohrkerne aus dem zu untersuchenden Bauteil oder Laborprobekörper integriert werden. Die mit Sensoren ausgerüsteten Bohrkerne oder Probekörper wurden bei verschiedenartig exponierten Bauteilen von ausgewählten Objekten der A13 in vorgängig ausgeführte Bohrlöcher eingemörtelt. Für die messtechnische Erfassung der Parameter elektrischer Betonwiderstand (Betonfeuchtigkeit), Potenzial (Korrosionszustand, Chloridgehalt), Korrosionsstrom (Materialabtrag) und Klimagrössen wie die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit wurde ein spezieller Datenlogger für die kontinuierliche Messdatenerfassung (Intervall ≥ 1 Minute) entwickelt.

Die während zwei bis drei Jahren durchgeführten Messungen haben gezeigt, dass die kontinuierliche Datenerfassung gegenüber periodischen (z.B. jährlichen) Handmessungen entscheidende Vorteile aufweist. Da einige Parameter wie der elektrische Betonwiderstand und der Korrosionsstrom massgebend von den Umgebungsbedingungen (Temperatur und Feuchtigkeit) beeinflusst werden, kön-

nen mit der neuen Messtechnik sowohl kurzzeitige Veränderungen wie z.B. Tageschwankungen als auch langfristige Unterschiede, die auf saisonale Schwankungen zurückzuführen sind, erfasst werden. Dieses Vorgehen erlaubt eine Unterscheidung zwischen Perioden mit geringer und hoher Korrosionsaktivität.

Zur Beurteilung des Feuchtehaushaltes im Beton und der Auswirkungen auf die Korrosionsgeschwindigkeit müssen Veränderungen des Betonwiderstandes von der Temperatur entkoppelt werden. Es wurde ein Auswerteverfahren erarbeitet, mit dem der exponentielle Zusammenhang zwischen Temperatur und Betonwiderstand als Funktion der Zeit dargestellt werden kann. In diesem Zusammenhang konnte der massgebende Einfluss der Exposition auf die Betonfeuchtigkeit und die Temperaturabhängigkeit des Betonwiderstandes wie auch des Korrosionsstromes gezeigt werden. Anhand der Modellierung der temperaturkompensierten Betonwiderstände konnten neue Erkenntnisse über den Feuchtigkeitshaushalt eines Stahlbetonbauteiles und den Transport von Schadstoffen gewonnen werden. Bei allen untersuchten Expositionsklassen war ein charakteristischer Verlauf der Betonwiderstände festzustellen. Bei diesem Verhalten kann zwischen kurzzeitigen Feuchtewechseln, die nur in Oberflächennähe des Betons eine Veränderung der Feuchtigkeit bewirken (Kleinereignisse) und tiefreichenden Feuchtewechseln mit Transportzonen bis über 40 mm (Grossereignisse) unterschieden werden. Diese Ergebnisse haben wesentlich zu einem erweiterten Verständnis über den Chlorideintrag in den Beton beigetragen.

Aus den Korrosionsstrommessungen und den korrodierten Flächen auf den Bewehrungsstäben konnte der Korrosionsfortschritt (Abtragstiefe über die Zeit) berechnet werden. Hohe Korrosionsgeschwindigkeiten bis 0.6 mm/Jahr wiesen Bewehrungsstäbe in Bauteilen mit direkter Bewitterung und/oder Spritzwasserbeaufschlagung auf, während das Wachstum bei teilweise oder nur indirekt bewitterten Bauteilen deutlich geringer ist. Die Abtragskurven belegen, dass hauptsächlich die Exposition des Bauteils und weniger der Chloridgehalt im Beton für den Korrosionsfortschritt ausschlaggebend ist. Der charakteristische treppenartige Verlauf der Abtragskurven ist auf die saisonalen Unterschiede bezüglich Temperatur und Feuchtigkeit zurückzuführen. Während den warmen Jahreszeiten ist die Korrosionsgeschwindigkeit um etwa einen Faktor Zwei höher als während der Wintermonate, hauptsächlich wegen der grossen Temperaturunterschiede. Im Hinblick auf die Prognose des Korrosionsfortschritts konnte ein hyperbolischer Zusammenhang zwischen dem spezifischen Betonwiderstand und der Korrosionsgeschwindigkeit sowie eine Zuordnung von vier Expositionsklassen hergestellt werden, was eine Abschätzung des Korrosionsfortschritts über die Zeit erlaubt. Die vier Expositionsklassen unterscheiden sich hauptsächlich in der Art und Menge des Wasseranfalls.

Aufgrund der neuen Erkenntnisse zum Feuchtigkeits-/Schadstofftransport und zum Korrosionsfortschritt werden konkrete Massnahmen zur Verlängerung der Initiierungsphase und Verringerung der Wachstumsgeschwindigkeit vorgeschlagen. Da die Exposition eines Bauteils respektive der elektrische Widerstand des Betons einen entscheidenden Einfluss auf den Korrosionsfortschritt ausübt, wirken sich gewisse Massnahmen zur Verlängerung der Initiierungszeit auch positiv auf die Verlangsamung der Korrosionsgeschwindigkeit aus.

Summary

Chlorides from deicing salts are one of the main causes for corrosion damage in concrete bridges and other road structures. The corrosion of concrete constructions is a complex process that is largely influenced by the interaction of the environmental conditions with the concrete. A theoretical prediction of the corrosion propagation was practically not available up to now. The goal of this work was the acquisition and the assessment of important parameters of rebar corrosion in concrete structures and to provide the fundamentals of corrosion propagation that would enable the engineer to make a better prediction on the development of the corrosion state of the reinforcement. A further goal was the development and testing of a measuring technique for the continuous assessment of important corrosion parameters of concrete structures (online-monitoring).

Investigations on corrosion propagation were based on the development of an instrumentation equipped with sensors capable of monitoring the major parameters involved in the ongoing corrosion processes. The instrumentation consists of concrete cores with chloride, resistivity and temperature sensors as well as isolated active rebars. The cores were taken from concrete structures or produced in the laboratory. The cores with the sensors were mounted in the boreholes of structures with different exposure conditions along the national highway A13. A special data acquisition system was developed for the continuous recording (measuring interval ≥ 1 minute) of resistivity (concrete humidity), potential (corrosion state, chloride content), corrosion current (material loss) and the climatic parameters such as temperature and relative humidity.

The measurements taken over the period of two to three years, showed that continuous monitoring has a decisive advantage over periodic single measurements (e.g. once per year). Since some of the parameters, like for instance, the resistivity and the corrosion current are strongly influenced by the environmental conditions (temperature and humidity), short-time changes like e.g. daily fluctuations as well

as long-term changes which are due to seasonal variations can be recorded by the new measuring technique. This procedure allows to differentiate between period of low or enhanced corrosion activity.

For an assessment of the humidity exchange in the concrete and the consequences on the corrosion rate, changes in the concrete resistivity had to be separated from the effect of temperature. An evaluation procedure for the exponential correlation of temperature and resistivity over time was developed. By this, the influence of the exposure conditions on the concrete humidity and the temperature as well as on the corrosion current could be shown. With the help of the modelling of the temperature-compensated concrete resistivities new findings on the humidity exchange of concrete structures and the transport of aggressive substances were found. For all exposure conditions a characteristic course of the concrete resistivities was found. From this behaviour short-term humidity changes which only cause a change of the humidity directly below the surface of the concrete (small incidents) could be differentiated from deep-reaching humidity change with transport zones over 40 mm (large incidents). These results provided a new insight of the chloride transport into the concrete.

From the corrosion current measurements and the determination of active corroding areas on the rebar probes the corrosion propagation (material loss over time) could be calculated. Rebars in structures with direct weathering and/or splash water showed high corrosion rates up to 0.6 mm/year, whereas the propagation in partially wet structures or structures with indirect weathering was much lower. The propagation curves proved that the decisive factor for the increase of the corrosion processes was mainly the exposure conditions of a concrete structure and to a minor extent the chloride content in the concrete. The characteristic step-shaped propagation curves had to be attributed to seasonal variations of the temperature and humidity. During the warm seasons the corrosion rate was approximately a factor of two higher than during the winter months. Regarding the prediction of the corrosion propagation a hyperbolic correlation between the concrete resistivity and the corrosion rate was found and an assignment of the exposure conditions could be made. This enables to estimate the corrosion propagation rates. The four exposure conditions tested mainly differ in the way of weathering on the surface.

On the basis of this new understanding of the transport of humidity and aggressive substances as well as of the corrosion propagation specific measures are proposed to increase the initiation stage and to reduce the corrosion rate. Since the exposure conditions of a concrete structure and the concrete resistivity have a decisive influence on the corrosion propagation some measures not only increase the initiation state but also positively affect the corrosion rate.