

# Drahtsensoren für das Korrosionsmonitoring von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken

## Filament sensors for corrosion monitoring of R/C- & P/C-structures

Holst, A.; Budelmann, H.; Wichmann, H.-J.

### Abstract

A prerequisite of durability and functional capability of reinforced and prestressed concrete structures is the corrosion protection of the reinforcing steel elements. Therefore corrosion monitoring is an important component of life cycle management of many structures, exposed to atmospheric conditions or to a harmful environment. This contribution deals with the assessment of corrosion in concrete structures, containing reinforcing or prestressing steel elements. A focus is directed on the development, testing and application of novel calibration-free mini-sensors for the evaluation of rebar corrosion initiation in concrete members, consisting of several parallel arranged, 0,05 to 0,5 mm thin iron filaments. Main advantages of the filament-sensors are the simple design and measuring principle. Also a subsequent sensor installation into boreholes with a grouting mortar is viable too.

### 1. Einleitung

Stahl- und Spannbetonkonstruktionen leisten im konstruktiven Ingenieur- und Brückenbau einen essentiellen Beitrag zur Gewährleistung der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit vorgespannter Bauwerke. Schäden an diesen Bauteilen müssen aus sicherheitsrelevanten, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen möglichst frühzeitig und zerstörungsfrei diagnostiziert werden. Hierzu wurden am iBMB u.a. im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 477 „Bauwerksüberwachung“ neue zerstörungsfreie Messtechniken entwickelt, verifiziert und optimiert. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Messtechniken ist die Korrosionsstellvertreterensorik. Diese liefert über ihren elektrischen Widerstand eine Kenngröße, die Rückschlüsse auf den Korrosionsfortschritt im Bauteil zulässt.

Die Korrosion von Stahl im Beton lässt sich grundlegend in zwei Phasen einteilen: In die Einleitungsphase bis zur Depassivierung des Stahles und in die daran anschließende Zerstörungsphase. Das Korrosionsmonitoring muss dem Rechnung tragen: In der ersten Monitoringstufe erfolgt die Überwachung korrosionsbe-

einflussender Parameter in der Spannstahlumgebung. Liegen die Voraussetzungen für Stahlkorrosion vor, so setzt die zweite Monitoringstufe ein, bei der dann die Korrosionsaktivität bzw. einsetzende Schädigung am Bewehrungsstahl bzw. am Spannglied überwacht wird.

### 2. Sensormessprinzip und -aufbau

Am iBMB wurde hierzu ein platinenbasierter Drahtkorrosionssensor entwickelt, bei dem das Durchrosten von dünnen Eisenfäden mit Durchmessern zwischen 0,065 und 0,5 mm, in der Spannstahlumgebung online überwacht wird /1/. Erreicht die Depassivierungsfront (Chloridfront) im Bauteil den Eisenfaden, so wird dieser i.d.R. sehr schnell korrodieren. Einige Prototypen der am iBMB entwickelten Sensoren zeigt Bild 1.

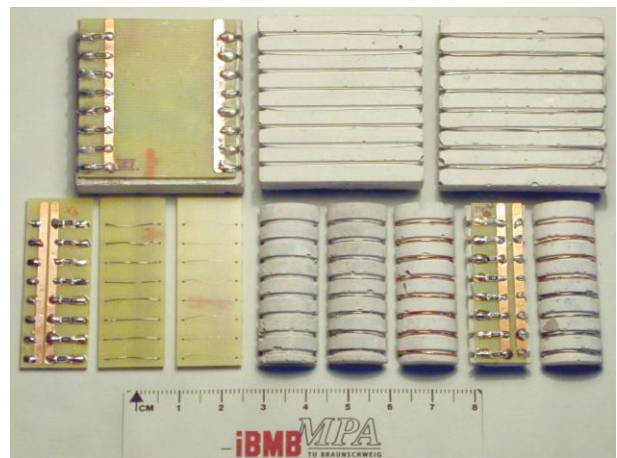


Bild 1: Vorder- und Rückseite einiger Drahtsensoren

Durch Messung des Drahtdurchgangswiderstands, z. B. mittels Standard-Ohmmeter oder Widerstandsmessbrücke, wird die beim Einzeldrahtbruch generierte signifikante Widerstandserhöhung sehr einfach erkannt.

Die tiefengestaffelt angeordneten Sensordrähte werden parallel geschaltet, sodass hierdurch die Anzahl der je Sensor erforderlichen Messkanal- bzw. Kabelanzahl minimiert werden kann. Jedem Sensordraht wird ein SMD (Surface Mounted Device)-Widerstand vorgeschaltet, wobei jeweils die Vorwiderstandsgröße variiert wird,

um die Drähte im Bauteil zu identifiziert. Die Sensorrückseite mit dem Schaltkreis und den angelöteten Drahtenden wird mittels Epoxidharz dauerhaft abgedichtet. Anschließend wird der Sensor an der Bewehrung befestigt.

Für die nachträgliche Applikation des Drahtsensors wird ein zylindrischer Mörtelstift mit rückseitiger Sensorplatte und in den Nuten verlegten Drähten mittels Verfüllmörtel in ein Bohrloch eingebaut (vgl. Bilder 1, 2), /2/. Durch die Profilierung wird ein guter Verbund des Sensors mit dem Verfüllmörtel bzw. dem umgebenden Beton sichergestellt. Außerdem erfolgt ein mechanischer Schutz der Sensordrähte beim Einbauvorgang. Die Eigenschaften des Verfüllmörtels müssen hierbei auf den Altbeton abgestimmt sein. Im Bereich der Betonoberfläche wird das Bohrloch zusätzlich mit Epoxidharz abgedichtet, sodass ein eindimensionaler Transport parallel zur Bauteiloberfläche erreicht wird.

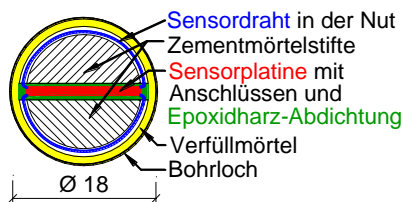


Bild 2: Querschnittsskizze eines Drahtsensors mit Mörtelstiften für den nachträglichen Bohrlocheinbau

### 3. Messergebnisse und Praxiseinsatz

In Bild 3 sind die Messergebnisse von drei Drahtsensoren mit Einzeldrähten  $\varnothing$  0,05 mm bei einem Carbonatisierungsversuch in Luft dargestellt. Die mit einer dünnen Zementleimschicht bedeckten Sensordrähte wurden hierbei intermittierend mit Wasser beaufschlagt.

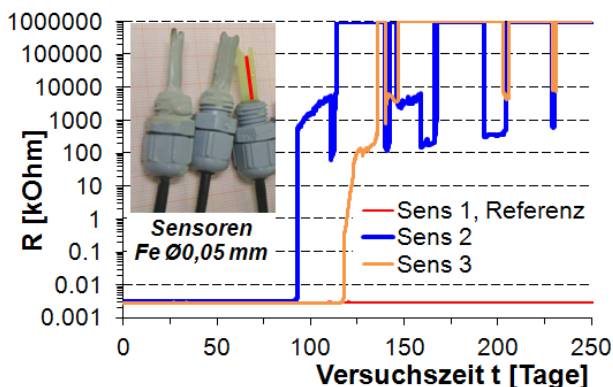


Bild 3: Fingerförmige Einzeldrahtsensoren: Foto und gemessene Sensorwiderstände während des Korrosionsversuches durch Carbonatisierung

Zusammenfassend kann der patentierte Korrosionssensor wie folgt beurteilt werden /1/, /2/, /3/:

- universal einsetzbarer Sensor zum Monitoring des Korrosionsbeginns und -fortschritts in der Bewehrungs- und Spannstahlumgebung
- einfaches Design, Messen und Auslesen
- diverse Sensorformen (u.a. Multidrahtsensor, Wendeldrahtsensor, Bohrlochsensor etc.) möglich /3/
- kalibrierfrei und robust, kein signifikanter Einfluss mechanischer und thermischer Belastung bis zum Bauteilversagen
- geringe Abmessungen
- Messkabellänge irrelevant
- Initial und nachträglich applizierbar.

Die Drahtsensorik ist zum Monitoring der Korrosionseingleitungsphase an Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen vielseitig und zuverlässig einsetzbar.

Erste Praxiseinsätze wurden bereits erfolgreich durchgeführt /3/. So zeigt Bild 4 ein instrumentiertes Spannnglied eines Faulturmes aus Beton.



Bild 4: Mörtelummantelte Einzeldrahtsensoren auf dem Loopingspannglied eines Faulturmes, /3/

### 4. Literaturverzeichnis

- /1/ Holst, A.; Budelmann, H.; Hariri, K.; Wichmann, H.-J.: Korrosionsmonitoring und Bruchortung in Spannbetonbauwerken – Möglichkeiten und Grenzen, Beton- und Stahlbetonbau (102) 2007, Heft 12, S. 835-847
- /2/ Budelmann, H.; Holst, A.: New Sensors for Rebar Corrosion Monitoring, in: Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Workshop on Structural Health Monitoring, July 2-4, 2008, Cracow, Poland, Lancaster (PA): DEStech. Publications, 2008, pp. 211-218
- /3/ Holst, A.; Budelmann, H.; Wichmann, H.-J.: Korrosionsmonitoring von Stahlbetonbauwerken als Element des Lebensdaueramanagements - Einsatz innovativer Drahtsensorik zur Überwachung der Bewehrungskorrosion, Beton- und Stahlbetonbau (105) 2010, Heft 12, S. 536-549