

# Feuchtesensoren in der Bauwerksüberwachung - Praxisbeispiele

Christian SODEIKAT, Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München

**Kurzfassung.** Die Bestimmung des Wassergehaltes und insbesondere der orts- und zeitabhängigen Feuchteverteilung in Baustoffen hat in der Forschung, Baustoffentwicklung, Bauwerksdiagnose und Bauwerksüberwachung einen besonderen Stellenwert. Bei der Untersuchung von Schadensursachen muss an Bauwerken in der Regel die Baustofffeuchte mit bewertet werden, da sowohl wesentliche Baustoffeigenschaften als auch die Dauerhaftigkeit von Bauwerken in entscheidendem Maße von deren Wassergehalt abhängig sind [1]. In jüngster Zeit werden Feuchtesensoren eingesetzt, um die Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Instandsetzungs- bzw. Schutzmaßnahmen zu kontrollieren. Dies soll es dem Bauherrn ermöglichen, rechtzeitig Maßnahmen einleiten zu können, bevor Schäden infolge Wasser- bzw. Chloridzutritt auftreten können.

## 1. Einführung

Eine indirekte Möglichkeit, den Wassergehalt von z.B. Beton zu bestimmen, besteht in der Messung des Elektrolytwiderstandes, der stark mit dem Wassergehalt korreliert. Zu einer quantitativen Wassergehaltsbestimmung von zementösen Baustoffen mit Hilfe der Elektrolytwiderstandsmessung sind noch die Abhängigkeiten von der Temperatur des Elektrolyten, dessen Ionenkonzentration sowie der Einfluss der Porenraumstruktur zu berücksichtigen. Aus diesem Grunde werden für die quantitative Wassergehaltsbestimmung baustoffspezifische Kalibrierkurven erstellt, die eine Regression der gemessenen Elektrolytwiderstände zum vorhandenen Wassergehalt des Baustoffs darstellen (siehe Bild 1).

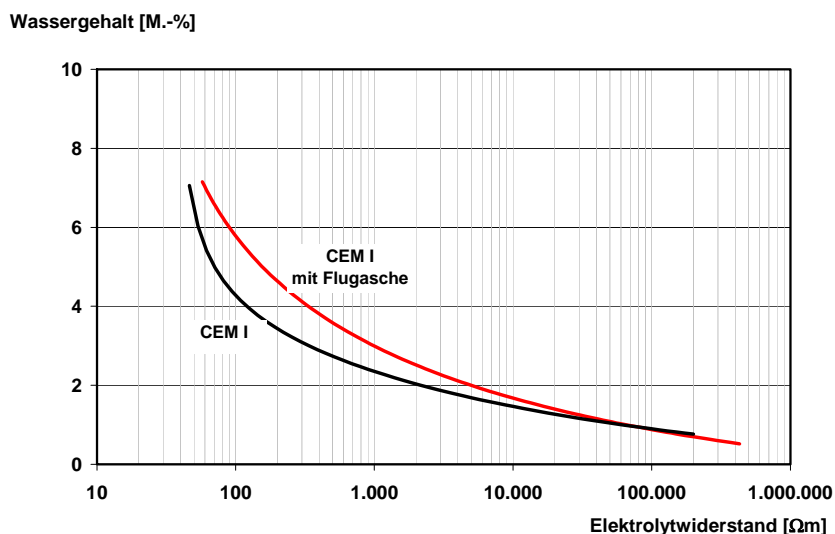


Bild 1: Abhängigkeit des Elektrolytwiderstandes vom Wassergehalt untersuchter Betone

## 2. Messsystem Multiring-Elektrode (MRE)

Für die tiefenabhängige und kontinuierliche Messung der Elektrolytwiderstände in zementösen Baustoffen wurde in den 1980er Jahren am ibac ein Sensor entwickelt, die so genannte Multiring-Elektrode (MRE). Diese kann sowohl in bestehenden als auch neu zu errichtenden Bauwerken eingesetzt werden.

Das Prinzip der Multiring-Elektrode (MRE) besteht in der Messung des Elektrolytwiderstandes zwischen je zwei benachbarten Ring-Elektroden aus nichtrostendem Stahl, die in unterschiedlichen Tiefen eingebaut sind. Standardmäßig ist die MRE aus neun Ringen mit einer Dicke von je 2,5 mm aufgebaut, die voneinander durch Kunststoffringe isoliert im Achsabstand von 5 mm gehalten sind (Bild 2). Durch Anlegen einer Wechselspannung zwischen jeweils zwei nebeneinander liegenden Ringen (Ring 1 – Ring 2, 2-3, 3-4...) ist es möglich, ein Profil des spezifischen Widerstandes in acht Schritten von 7 mm bis in 42 mm Tiefe zu erfassen. Die dazu notwendige Zellkonstante der Multiring-Elektrode (Geometriefaktor) konnte experimentell und durch numerische Simulationen übereinstimmend zu  $k = 0,1 \text{ m}$  ermittelt werden. Für Spezialanwendungen können MREs in nahezu beliebiger Länge hergestellt werden.

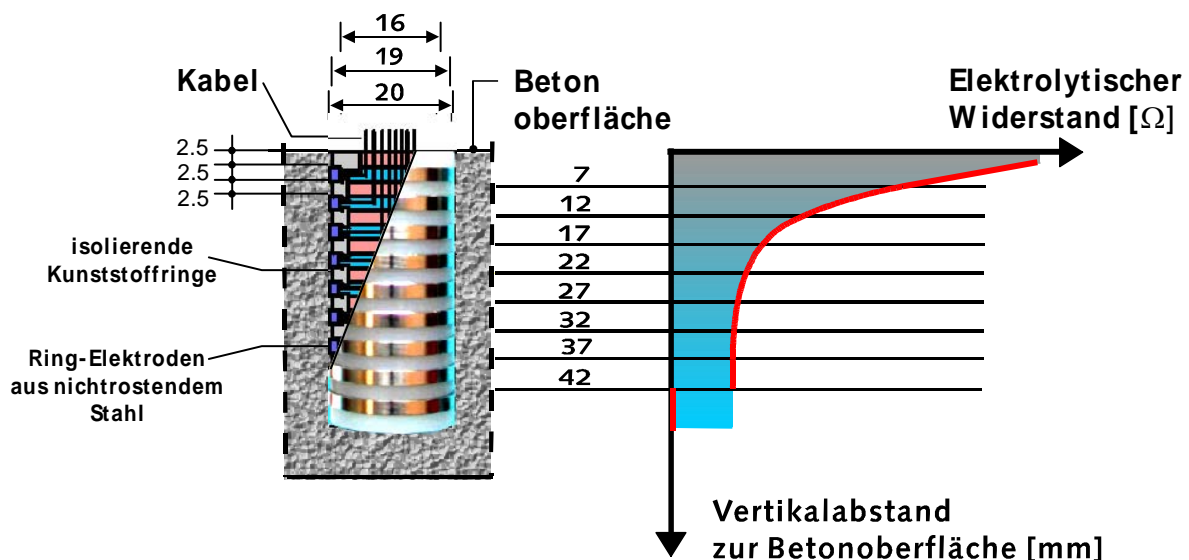


Bild 2: Schematische Darstellung einer Multiring-Elektrode und typisches Widerstandsprofil eines austrocknenden Betons

## 3. Anwendungsgebiete für Verkehrsbauten

### 3.1 Überprüfung der Funktionstüchtigkeit einer Brückenabdichtung

Sinnvolle Einsatzgebiete von Multiring-Elektroden für die Zustandserfassung von Verkehrsbauten sind z.B. die Betonoberflächen von Brücken. Bei üblichen Brücken wird die Betonoberfläche nach ZTV-ING (Bitumenschweißbahnen bzw. Flüssigfolien) abgedichtet, darauf kommt in der Regel ein mehrschichtiger bituminöser Aufbau. Die Funktionstüchtigkeit der Abdichtung kann von außen nicht zerstörungsfrei überprüft

werden. Die üblichen Untersuchungen im Vorfeld von möglichen Instandsetzungen bestehen aus einem lokalen Öffnen des Oberbaus bis zur Betonoberfläche. Dann kann über Potentialfeldmessungen, Chloridgehaltsbestimmungen und lokale Öffnungen der Bewehrung auf stattfindende Korrosion geschlossen werden. Diese Untersuchungen sind jedoch nur lokal durchzuführen und außerdem vergleichsweise aufwendig, insbesondere, da einzelne Fahrspuren gesperrt werden müssen, was wiederum häufig nur nachts möglich ist. Durch den Einbau von Multiring-Elektroden kann man im Gegensatz dazu jederzeit die Funktionstüchtigkeit der Abdichtung durch Elektrolytwiderstandmessung ablesen.

Fällt die Abdichtungsfunktion lokal aus, kann dies durch verringerte Elektrolytwiderstände des dann nassen Betons gemessen und nachgewiesen werden.

Im Zuge von Pilotprojekten mit der Stadt München wurden bei einer Brückeninstandsetzung zahlreiche Sensoren an neuralgischen Stellen in die Fahrbahnplatte eingebaut, um die Funktionstüchtigkeit der Abdichtung fortlaufend prüfen zu können.

Der Einbau der MRE erfolgte nachträglich in den Konstruktionsbeton der Fahrbahnplatte so, dass sich der oberste Ring der MRE an der Oberseite der Fahrbahnplatte befindet. Die Kabel wurden durch die Fahrbahnplatte in den Hohlkasten der Brücke geführt und dort in zwei Messboxen zusammengeführt. Bild 3 zeigt die eingefädelte, aber noch nicht vergossene MRE im Bereich eines Brückenablaufs.



Bild 3: Vorbereitete MRE auf grundrierte Brückentafel (links Brückenablauf)

Als neuralgische Stellen zur Installation der Sensoren wurden Brückenübergangskonstruktionen und Brückenabläufe ausgewählt. Um den Veränderung der Elektrolytwiderstände später klar eindringendem Wasser zuordnen zu können, wurden weiterhin zwei MRE an Stellen der Fahrbahnplatte eingebaut, an denen ein Versagen der Abdichtung nicht zu erwarten ist.

Die Veränderung der Widerstände von vier MRE eines Instandsetzungsabschnittes über einen Messzeitraum von 15 Monaten zeigt Bild 4. Wie eindeutig zu erkennen ist, erhöhen sich die Widerstände der Sensoren über die gesamte Tiefe. Dies kann als ein Austrocknen

des Ankoppelungsmörtels über die Zeit gedeutet werden, was wiederum auf eine funktions-tüchtige Abdichtung schließen lässt.

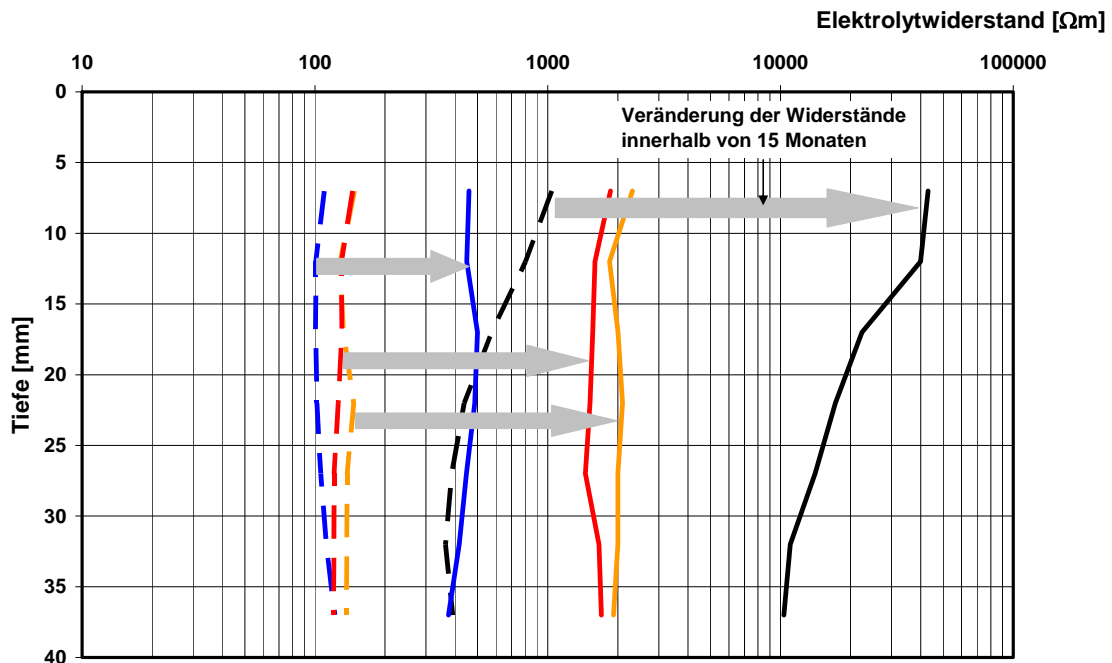


Bild 4: Typisches Widerstandsprofil eines austrocknenden Betons

### 3.2 Überprüfung der Wirksamkeit der Hydrophobierung eines Autobahntunnels

An einem Autobahntunnel nahe München wurden im Rahmen eines weiteren Pilotprojektes bei der Herstellung die Einfahrtsportale im Firstbereich zur Unterdrückung des Chlorideindringens aus Sprühnebelbelastung hydrophobiert.

Um die Wirksamkeit der Hydrophobierung über die Zeit nachweisen zu können, wurden zeitgleich mit der Herstellung auch Probeplatten mit MRE produziert und z.T. hydrophobiert.



Bild 5: Hydrophobierte Einfahrtsportale und Probeplatten

Die Probeplatten wurden nach der Herstellung zunächst vor freier Beregnung geschützt und sind seit Anfang 2007 wie in Bild 5 dargestellt einer Sprühnebelbelastung ausgesetzt.

In Bild 6 ist die zeitliche Veränderung der Widerstandsprofile für die nicht-hydrophobierte Probeplatte, in Bild 7 sind die entsprechenden Widerstände der hydrophobierten Probeplatte dargestellt.

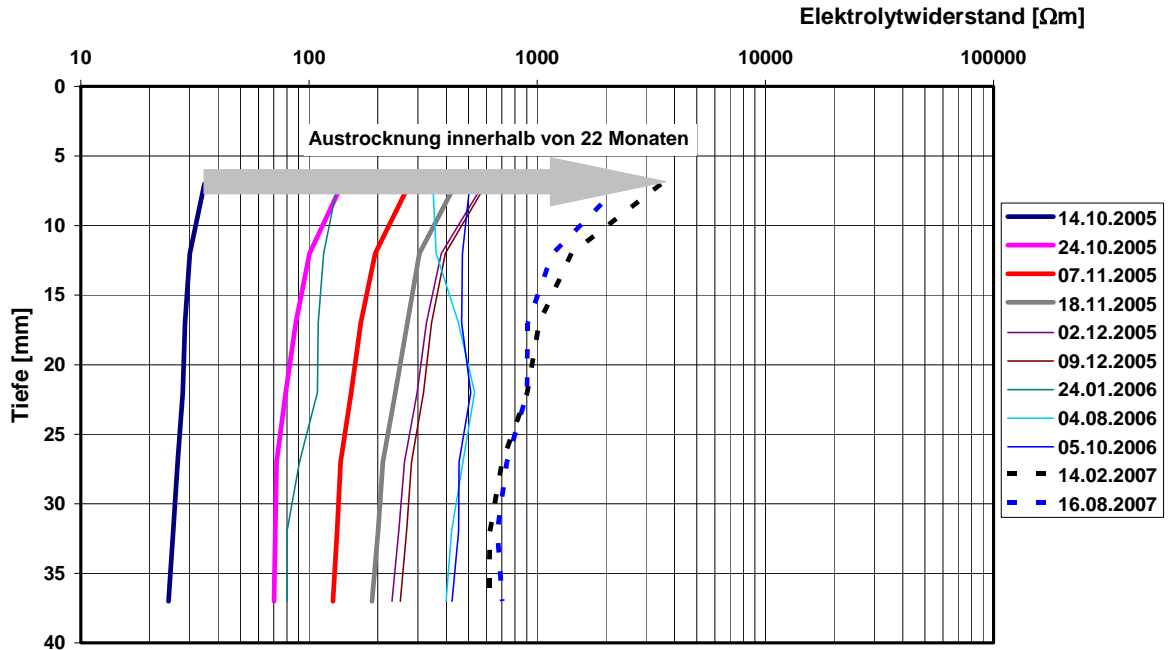


Bild 6: Veränderung der Widerstandsprofile der nicht-hydrophobierten Probeplatte über einen Zeitraum von 22 Monaten.

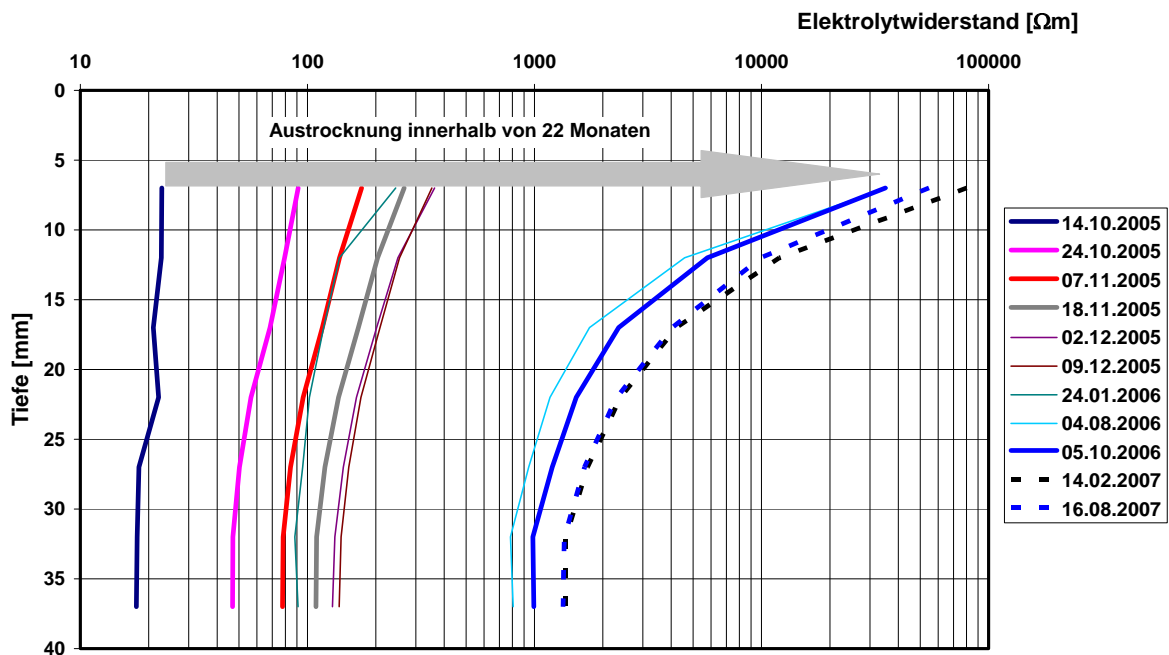


Bild 7: Veränderung der Widerstandsprofile der hydrophobierten Probeplatte über einen Zeitraum von 22 Monaten.

Die hydrophobierte Probeplatte zeigt im oberflächennahen Bereich einen rd. 10 bis 20-fach höheren, aber auch in größeren Tiefen einen deutlich höheren Elektrolytwiderstand als die nicht hydrophobierte Probeplatte. Dies zeigt die wesentlich stärkere Austrocknung bzw. die wesentlich geringere Wasseraufnahme dieses Betons auf.

Die Wirksamkeit der Hydrophobierung bzw. die mögliche zeitliche Abnahme der Wirksamkeit kann durch die Verwendung von MRE somit zerstörungsfrei kontinuierlich überprüft werden.

#### **4. Zusammenfassung**

Es zeigt sich, dass das Einbeziehen von Daten aus Feuchtemonitoring eine wirtschaftliche und zuverlässige zerstörungsfreie Methode zur Erfassung der Funktionstüchtigkeit von Abdichtungen, Beschichtungen und Hydrophobierungen darstellt.

So können z.B. das Versagen einer Abdichtung, einer Beschichtung und einer Hydrophobierung frühzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen ergriffen werden, bevor weitergehende Schädigungen des Bauwerks eintreten.

In Kombination mit einem Korrosionsmonitoring kann der Zustand von Verkehrsbauten aus Stahlbeton oder Spannbeton in korrosionsfördernden Expositionen kontinuierlich erfasst und die Ergebnisse zur Erstellung eines Updates einer Dauerhaftigkeitsanalyse herangezogen werden. Somit können bauliche Maßnahmen zu einem hinsichtlich der Gesamtinstandhaltungskosten optimalen Zeitpunkt eingeleitet werden. Ferner kann anhand der Monitoringdaten für alle Beteiligten ein wirtschaftlicher Qualitätsnachweis erfolgen [2].

#### **Referenzen**

- [1] Raupach, M.; Dauberschmidt, C.; Wolff, L.; Harnisch, J.: Monitoring der Feuchteverteilung in Beton – Sensorik und Anwendungsmöglichkeiten. In: Beton 57 (2007), Nr. 1.
- [2] Sodeikat, C.; Dauberschmidt, C.; Schießl, P.; Gehlen, C. und Kapteina, G.: Korrosionsmonitoring von Stahlbetonbauwerken für Public Private Partnership Projekte, in: Beton- und Stahlbeton-bau 101 (2006), Heft 12.