

## Ermittlung von Dauerhaftigkeitsparametern mittels einfacher draht- und energieloser Sensorsysteme

Während früher die Bemessung von Stahlbetonbauteilen ausschließlich auf Grundlage des Tragverhaltens durchgeführt wurde, tritt heute als wesentlicher Faktor die Dauerhaftigkeit des Stahlbetons, bzw. sein Widerstand gegen äußere Einwirkungen hinzu. Dies wird z. B. an der Einführung der Expositionsklassen deutlich. Gefordert wird die Gewährleistung der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken. Schäden an diesen Bauwerken sollten vermieden werden. Treten sie dennoch auf, sollten sie sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen frühzeitig erkannt werden.



Aus der jahrzehntelangen Kenntnis der Schädigungen, die im Rahmen klassischer Betoninstandsetzung bearbeitet werden, wird klar ersichtlich, dass bei dieser Betrachtung der Einwirkungsgrößen der Feuchtigkeit eine maßgebliche Bedeutung zukommt.

### Einfluss der Kenngröße „Feuchtigkeit“ auf die Dauerhaftigkeit

Bei der Betrachtung des Einflusses von Wasser auf die Lebensdauerprozesse eines Betonbauwerkes gibt es verschiedene Sichtweisen:

- Das Wasser ist überhaupt erst die Grundvoraussetzung für die chemischen Prozesse bei der Herstellung des Betons
- Das bei der Hydratation nicht gebundene Wasser ist verantwortlich für nicht gewünschte Baustoffeigenschaften. Hierbei spielt die nach Ablauf der Hydratation entstandene Porenraumstruktur eine wichtige Rolle für die Dauerhaftigkeit.
- Wassermoleküle sind entscheidend für die Transportprozesse der Chloride
- Feuchtigkeit füllt Poren und behindert dadurch die Carbonatisierung des Betons bzw. die Korrosion der Bewehrung infolge Sauerstoff
- Ebenso werden Korrosionsprozesse infolge Chloriden bei Feuchtigkeitsgesättigten Betonen erheblich behindert.

Um nun beurteilen zu können, ob die im Beton vorhandene Feuchtigkeit gut oder schlecht für das Bauwerk ist, muss eine Möglichkeit geschaffen werden, eine sowohl quantitative als auch qualitative Messung innerhalb des Betons einfach durchführen zu können.

Die Beurteilung der Feuchtigkeit durch Messsysteme an der Oberfläche von Bauwerken hat sich für die Feuchtebestimmung im Inneren des Betonbauwerkes, und damit für eine Bewertung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit, als nicht tauglich erwiesen. Die Messung ist vielmehr im Bauwerk direkt vorzunehmen, wobei Zugänglichkeit und Messtiefe eine große Rolle spielen.

Eine Möglichkeit, den Wassergehalt im Beton zu bestimmen, besteht in der Messung des stark mit dem Wassergehalt korrelierenden Elektrolytwiderstandes. Dabei ist zu beachten, dass bei der Bestimmung der Feuchtigkeit innerhalb des Betons mit Hilfe der Elektrolytwiderstandsmessung Abhängigkeiten von der Temperatur des Elektrolyten und die Porenraumstruktur zu berücksichtigen sind. Eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Ermittlung von Feuchtigkeitswerten spielt die Messgeometrie im Zusammenhang mit der Größe der Zuschlagstoffe. Um ein quantitatives Messergebnis zu ermitteln, gibt es entweder die Möglichkeit der Erstellung baustoffspezifischer Kalibrierkurven, oder die der indirekten Bestimmung durch Messung der Feuchtigkeit des Ankoppelmörtels der Sensorik.

### Grenzen bei der Bestimmung von Feuchtigkeitswerten im Beton

Der Messung von quantitativen Feuchtigkeitswerten in Betonbauwerken und deren Bewertung sind Grenzen gesetzt:

- Es gibt technische Rahmenbedingungen für den Einsatz von Sensorik (Reichweite, Flächenwirkung)
- Bei der baustoffspezifischen Referenzierung der Baustoffe entstehen Ungenauigkeiten
- Die Temperaturkompensation der ermittelten Daten ist komplex (Arrhenius-Gleichung)
- Der Zustand/Alter des Betons (hier: Carbonatisierung) muss berücksichtigt werden
- Umwelteinflüsse (CO<sub>2</sub>/Kohlensäure + Chloride) verändern langfristig Messwerte

Die genannten Faktoren führen zu Toleranzen, die bei der Bewertung von Messergebnissen zu berücksichtigen sind. Zudem gibt es spezifische Ungenauigkeiten im Rahmen der Bestimmung von quantitativen Feuchtigkeiten in realen Bauwerksgeometrien, die eine extrem hohe Messgenauigkeit der Proben fraglich erscheinen lassen.

### Anforderungen an Monitoringsysteme

An Monitoringsysteme für Betonbauwerke werden generell folgende Anforderungen gestellt:

- Kompakte und robuste Bauform
- einfache Handhabung und leichter Einbau
- einfaches Auslesen der Messdaten



Bild 1 Feuchtesensor



Bild 2 Auslesen der Daten vor Ort

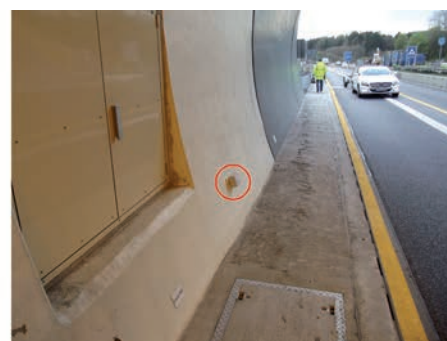


Bild 3 Drahtlose Fernabfrage der Daten



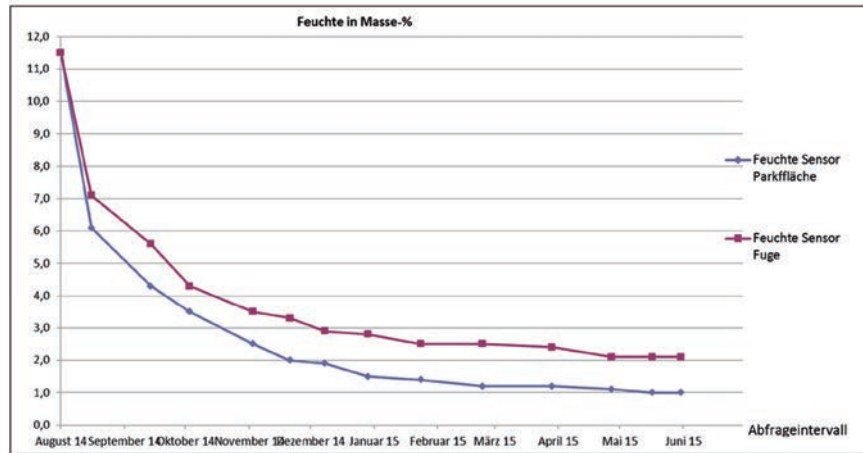
**Bild 4** Sensor montage im Fugenbereich

**Bild 5** Sensor montage in einer Kernlochbohrung

**Bild 6** Feuchtigkeitsentwicklung der Sensoren

Es ist ein Frühwarnsystem, das eine einfache Korrosionsdetektion und Überwachung von schädlichen Einflüssen ermöglicht bevor diese Einflüsse auf den Bewehrungsstahl einwirken. Die Sensor-Systeme können sowohl im Neubaubereich als auch bei der Instandsetzung eingesetzt werden.

Der Feuchtesensor misst den Elektrolytwiderstand und die Temperatur des Betons in der jeweiligen Einbautiefe des Sensors. Es wird aus baupraktischen Gründen nur eine Messebene aus 2 Edelstahlringen verwendet (H = 10mm), um eine größere Wirkfläche zu erhalten und Standardeinbauverfahren verwenden zu können. Der Außendurchmesser des Sensors ist 98 mm, die Bauhöhe beträgt 25 mm. Damit ergibt sich bei einer Standardbohrkrone für Betonkerne von 100 mm ein Bohrlochdurchmesser von 105 mm. Mit dem dadurch entstehenden geringen Abstand zum Altbeton wird eine optimale Ankopplung Sensor/Altbeton mit Hilfe spezieller Ankoppelmörtel ermöglicht (Bilder 1 und 5).



- kontinuierliche Kontrollmöglichkeit
- unabhängige und effiziente Systeme (energie- und kabellos; hohe Wirkfläche)
- kostengünstige Serienprodukte und Installation
- Vielfältige Verwendbarkeit/größtmögliche Einsetzbarkeit
- Nutzungsdauer größer als 50 Jahre
- Kompatibilität zu existierender Bautechnologie (runde Bauform, Befestigung Sensorgehäuse mit Rödeldraht, etc.)

Für nachfolgende Rahmenbedingungen gelten spezielle Anforderungen:

**Einsatz im Neubau von Betonbauwerken:**

- Keine Behinderung des Bauablaufes
- Einfache Montage durch Dritte
- 100 %ige Verfügbarkeit nach dem Einbau
- Überprüfung/Messung während der Betonage
- Keine Ausnahmeregelungen bei der Betonage/keine „geschützten“ Bereiche für die Sensorik
- Korrekte Messergebnisse auch bei Größtkorn > 10 mm

**Einsatz bei der Instandsetzung/nachträglicher Einbau:**

- Verwendung von Standardbohrkronen für Kernlochbohrungen
- Einfache Montage durch Dritte
- Wiederverwendbarkeit
- Sicherstellung der optimalen Ankopplung an den Altbeton
- Umsetzung spezieller Planungsaufgaben beim Monitoring (Realisierbarkeit verschiedener Monitoringebenen – Altbeton oder Abdichtung)

**Messsystem „CorroDec® 2G“ zur Ermittlung der Betonfeuchte**

Die CorroDec® 2G Systemreihe ist ein kabel- und energieloses System auf Basis der RFID-Technologie für die Feststellung von Korrosion, Feuchtigkeit und vorherrschenden Potenzial im Bereich der Bewehrung.

Es hat sich für die Beurteilung von Messwerten durch den Bauingenieur herausgestellt, dass die Erfassung von quantitativen Feuchtigkeitswerten zwischen 1 M-% bis 10 M-% Feuchtigkeit ausreichend für eine Bewertung sind. Die ermittelten Messergebnisse sind mit den bisher üblichen Systemen (Multiringelektrode) in etwa vergleichbar, wobei ein entsprechender Umrechnungsfaktor eingerechnet werden muss. Allerdings gibt es dabei Abweichungen auf Grund der erheblichen Geometrieunterschiede im nassen und trockenen Beton.

**Wie sieht die konkrete Planung am Beispiel eines Bauwerkes aus?**

Die Planung der Einbaustandorte von Sensoren richtet sich nach den zu erwartenden Schäden, bzw. Schadenspotentialen. Dabei sind technologisch und konstruktiv bedingte Schwachstellen mit zu beachten. Daraus resultieren folgende Einbaustandorte:

- In der unmittelbaren Nähe der Instandsetzungsstelle zum Altbeton

**Prüfröhrchen nach Pleyers**

**Zur genauen Ermittlung der Flüssigkeitsaufnahme von Böden und Wänden**  
[www.wassereindringpruefer.de](http://www.wassereindringpruefer.de)

Bitte fordern Sie unseren aktuellen Prospekt für Bau-Prüf-Geräte an!

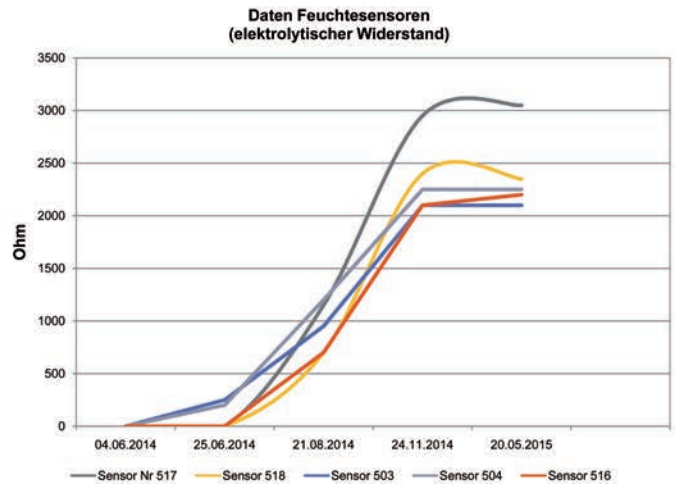
**PPW-POLYPLAN-WERKZEUGE GMBH**  
 Riekbornweg 20 • D-22457 Hamburg  
 Tel. 040/55 97 26-0 • Fax 040/55 97 26 65  
[www.polyplan.com](http://www.polyplan.com) • E-Mail: [ppw@polyplan.com](mailto:ppw@polyplan.com)



**Bild 7** Sensormontage in Instandsetzungsstelle

**Bild 8** Feuchtigkeitsentwicklung Sensoren

- Im Bereich innerhalb von größeren Instandsetzungsflächen
- In den Bereichen in denen auf Grund des vorhandenen Restrisikos und der exponierten Lage Schäden zu erwarten sind
- In den Bereichen wo auf Grund der Bauweise Risse zu erwarten sind.
- In den Bereichen, die mechanisch hoch frequentiert werden
- In den Bereichen, bei denen der größte Tausalzeintrag zu erwarten ist.
- Bei technologisch- und konstruktiven Schwachstellen
- An Stellen, die später schwer zugänglich und für das Bauwerk statisch wichtig sind



**Beispiel für den Einsatz von Monitoring Systemen beim Neubau und der Instandsetzung von Betonbauwerken**

*Instandsetzung Parkhaus – Einbau Sensor mit Ankoppelmörtel*  
 Messziel: Probeinstandsetzung mit Nachweis Instandsetzungserfolg  
 Ergebnis: Eintritt der Ausgleichsfeuchte (Bilder 4 – 6)

*Instandsetzung Parkhaus – Einbau Sensor im Instandsetzungs-beton*  
 Messziel: Nachweis Instandsetzungserfolg im Fugen- und Parkflächenbereich  
 Ergebnis: Eintritt der Ausgleichsfeuchte (Bilder 7 u. 8)



*Tunnelinstandsetzung – Einbau Sensor mit Ankoppelmörtel*  
 Messziel: Nachweis Instandsetzungserfolg  
 Instandsetzungsprinzip „W“  
 Ergebnis: Eintritt Feuchtigkeit infolge undichtem Oberflächenschutzsystem (Bild 11)

**Fazit**

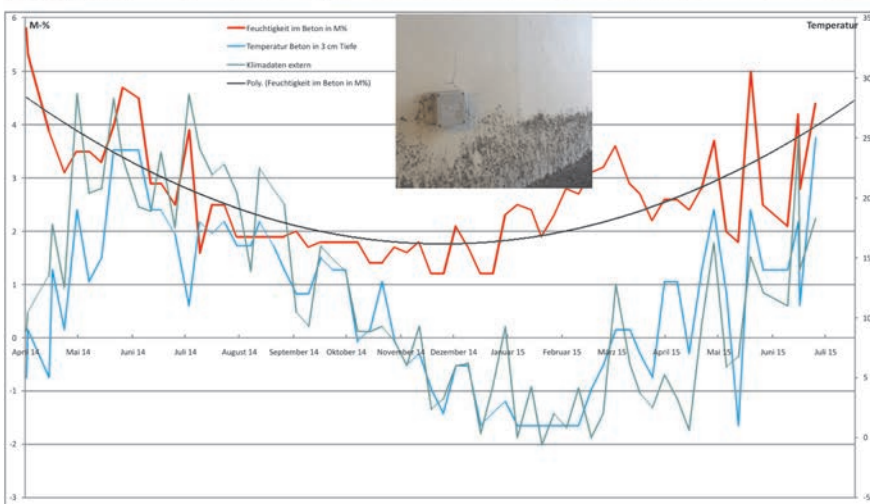
Es liegen ausreichend funktionsfähige und erprobte Sensorsysteme vor, um objektgegeben eine reale Erfassung der Bauwerkskenndaten vorzunehmen, bzw. eine Erfassung des kritischen Fortgangs der Bauwerkskenndaten aufzuzeigen. Neben der Risikobewertung chloridbelasteter Bauwerke im Instandsetzungsbereich, können die vorhandenen Monitoringsysteme im Neubaubereich langfristig zu erheblichen Kosteneinsparungen führen, z. B. im Bereich des Beschichtungsmonitoring.

Einen hohen Stellenwert besitzen Messdaten im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Mängelanzeigen. Die ermittelten Daten bieten dem Bauherren Rechtssicherheit, sowie

**Bild 9** Sensormontage mit Ankoppelmörtel

**Bild 10** Sensormontage mit Ankoppelmörtel

**Bild 11** Feuchtigkeitsentwicklung Sensor



(Abb./Fotos: BSZ Sicherheitssysteme)

die Grundlage für eine zügige Instandsetzung der angezeigten und nachgewiesenen Mängel. Das Frühwarnsystem „CorroDec® 2G“ ist seit 2008 erfolgreich in ganz Europa im Einsatz.

*Wolfgang Hill*

*Leiter Entwicklung BS2 Sicherheitssysteme mbH*

**Weitere Informationen:**

BS2 Sicherheitssysteme GmbH,  
56154 Boppard, An den Kreuzen 3,  
Tel. +49 (0)67 42 – 92 14 51,  
[info@bs2gruppe.de](mailto:info@bs2gruppe.de), [www.bs2-sicherheitssysteme.de](http://www.bs2-sicherheitssysteme.de)