

Wolfgang Hill, Rainer Eger

# Monitoring von Betonbauwerken

## Die Verantwortung der Eigentümer und Verwalter für die Erhaltung und Instandsetzung ihrer Stahlbetonbauwerke

### Ausgangssituation

Bauwerke werden trotz umfangreicher Maßnahmen unter Beachtung von entsprechenden Expositionsklassen immer stärker mit klimatischen, mechanischen und chemischen Belastungen konfrontiert. Hinzu kommen nicht vermeidbare konstruktive und baustofftechnische Schwachstellen – nichts hält ewig. Um den gestiegenen Anforderungen an das Bauwerk gerecht zu werden, muss der Zustand regelmäßig überprüft werden. Aus den Erfahrungen der letzten Jahrzehnte wird deutlich, dass Betreiber und Besitzer von Bauwerken einfache und verständliche Aussagen über den Ist-Zustand erwarten. In diesem Zusammenhang sind u. a. folgende Kenngrößen maßgeblich für die Bewertung des Zustands von Betonbauwerken:

- ▶ Feuchtigkeit,
- ▶ korrosive Einflüsse im Bereich der Bewehrung.

### Rechtliche Grundlagen

Grundsätzlich existiert mit der Musterbauordnung ein gültiges Gesetzeswerk. Resultierend aus großen Schäden (z. B. Eissporthalle Bad Reichenhall) ist nochmals gesondert auf die rechtliche Verantwortlichkeit hingewiesen worden.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (31. März 2006): »Aus wirtschaftlichen, bauordnungsrechtlichen und zivilrechtlichen Gründen ist eine regelmäßige Überwachung baulicher Anlagen geboten.«

Besonders für den Besitzer und Betreiber von baulichen Anlagen sind die Regelwerke bindend. Ein Beispiel dafür aus der MBO § 3: »Bauliche Anlagen [...] sowie ihre Teile sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben oder Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden. [...] Sie müssen bei ordnungsgemäßer Instandhaltung die allgemeinen Anforderungen des Satzes 1 ihrem Zweck entsprechend angemessen dauerhaft erfüllen und ohne Missstände benutzbar sein.«

Dabei wird der Begriff »Instandhaltung« unterschiedlich definiert. Generelles Ziel ist die Sicherstellung, dass der funktionsfähige Zustand von technischen Systemen, Bauelementen, Geräten und Betriebsmitteln erhalten bleibt oder bei Ausfall wiederhergestellt wird. In der DIN 31051 ist die Instandhaltung nach vier Grundmaßnahmen gegliedert, nämlich Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung. Demgegenüber unterteilt die DIN EN 13306 die Instandhaltung in die zwei Kategorien »Vorbeugende Instandhaltung« und »Korrektive Instandhaltung«.

### Welche Rolle spielen Monitoringsysteme in diesem Zusammenhang?

Durch den Einsatz von Monitoringlösungen gewinnt man wertvolle Daten zum Zustand des Bauwerks und erkennt rechtzeitig mögliche schädliche Faktoren. Ferner können diese Daten auch Werkzeug zur Erstellung ei-

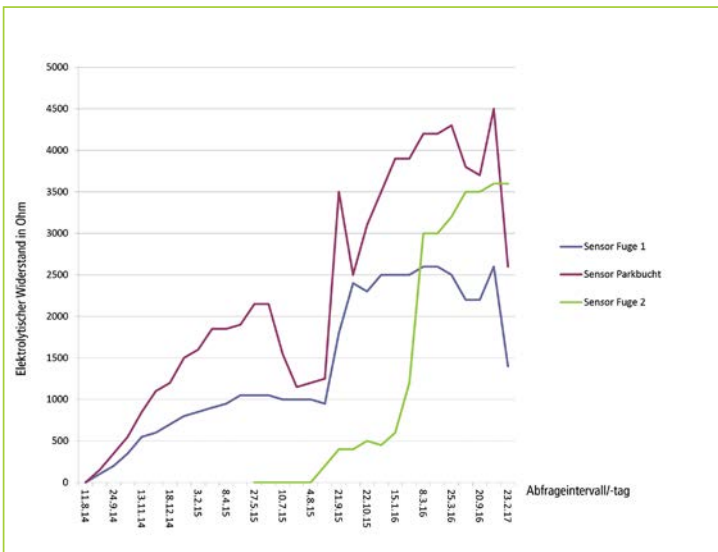


Abb. 1: Beispiel Messergebnisse elektrolytischer Widerstand

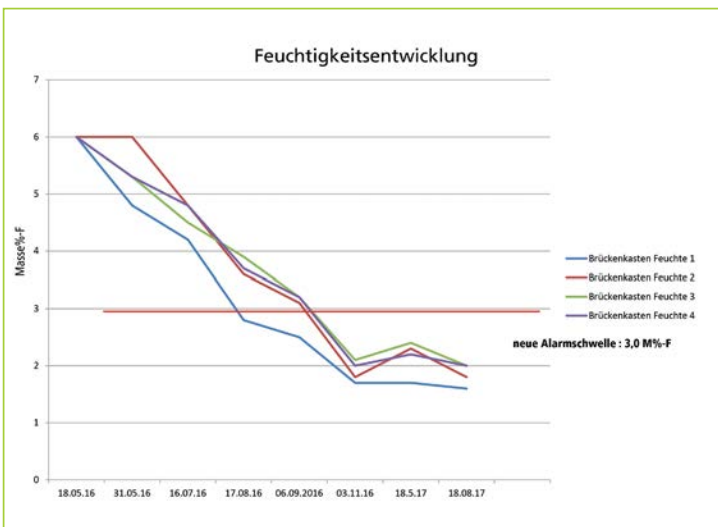


Abb. 2: Feuchtwerte mit Schwellenwert

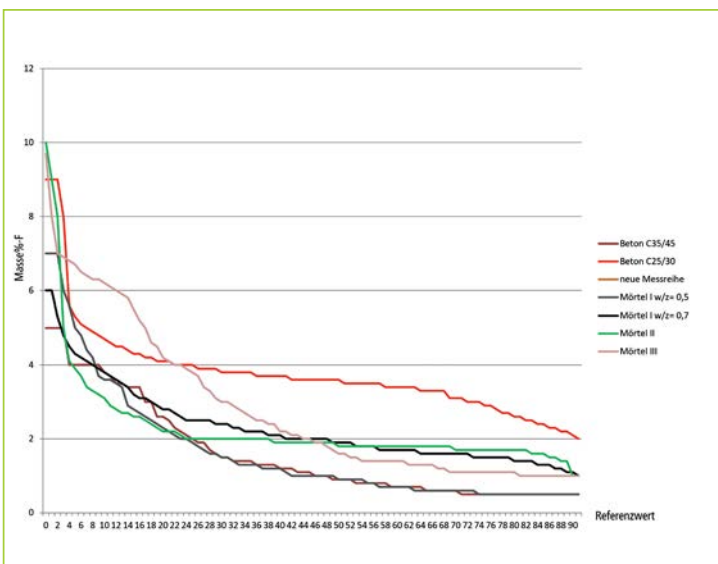


Abb. 3: Baustoffkennwerte

nes Prognosemodells sein, welches z. B. Auskunft über die verbleibende Lebensdauer eines Bauwerks o.Ä. liefert.

Die Kenntnis über Bauwerkskennwerte wie Feuchtigkeit und Korrosion hat einen wesentlichen Einfluss auf die Beurteilung der Dauerhaftigkeit eines Betonbauwerks. Eine oberflächige Begutachtung eines solchen Bauwerks ist insofern nicht zielführend, dass keine direkten Schlüsse auf die Bauwerkskennwerte und die daraus abzuleitenden Instandsetzungskosten ermittelt werden können. Die Erfassung von Daten aus dem Inneren des Bauwerks hat entscheidenden Einfluss auf die Bewertung der Bauwerksituation und demzufolge auch auf die entstehenden Kosten bei der Instandsetzung.

Im Bereich der Instandsetzung gibt es unterschiedliche, dem Stand der Technik entsprechende Vorgehensweisen für den sachkundigen Planer, die in der INSTANDSETZUNGSRICHTLINIE des DAfStB – einer eingeführten technischen Baubestimmung – beschrieben sind (diese Richtlinie wird in Kürze durch eine neue Instandhaltungsrichtlinie abgelöst). Aufgeführt sind hierin

- ▶ das Instandsetzungsprinzip »R« mit dem Ziel, die Passivschicht auf der Betonstahloberfläche durch zementgebundene Stoffe wiederherzustellen,
- ▶ das Instandsetzungsprinzip »W« mit dem Ziel des Korrosionsschutzes durch Begrenzung des Wassergehalts im Beton, bei dem neben der örtlichen Ausbesserung mit alkalischen Mörteln ein zusätzliches Oberflächenschutzsystem als Beschichtung eingesetzt wird,
- ▶ das Instandsetzungsprinzip »C«, bei dem die Bewehrung beschichtet wird, um anodische Auflösungen der Stahloberfläche zu verhindern

(dieses Prinzip soll aufgrund der Risiken nicht angewendet werden), das Instandsetzungsprinzip »K«, bei dem die Bewehrung über Inert-Anoden mit Fremdstrom beaufschlagt wird.

Die endgültige Entscheidung über ein Instandsetzungsprinzip wird vom Bauherrn unter Berücksichtigung der Risiken getroffen. Als kostengünstiges Instandsetzungsprinzip wird häufig das Instandsetzungsprinzip »W« gewählt, also der Korrosionsschutz durch die Begrenzung des Wassergehalts im Beton bei gleichzeitigem Schutz der Betonoberfläche gegen Wasseraufnahme. Zunächst wird dabei der Beton im Bereich von Fehlstellen bis zum korrosionsfreien Bereich des Stahls entfernt; anschließend wird eine geeignete Oberflächenbeschichtung aufgebracht.

Diese Instandsetzungsvariante erfordert große Sorgfalt bei der Instandsetzungsplanung und -ausführung. Im Mittelpunkt steht die Bewertung des Restrisikos, insbesondere, wenn Chloridkonzentrationen über dem kritischen Schwellenwert von 0,5 % M.-Cem. eingeschlossen werden. Hierbei spielen eindeutige Aussagen und ein praxisnaher Einsatz von Sensortechnik eine entscheidende Rolle.

### Kenngroße »Feuchtigkeit«

Für die Erstellung eines Betonbauwerks ist Wasser für das Abbinden des Zements grundsätzlich notwendig. Das bei der Herstellung von Beton für das Abbinden nicht benötigte Wasser wird als Restfeuchtigkeit definiert. Beton lässt ein Eindringen von Wasser in den Querschnitt zu. Die Eindringtiefe richtet sich nach der Qualität und Zusammensetzung des Betons. Um beurteilen zu können, ob die im Beton vorhandene Feuchtigkeit gut oder schlecht

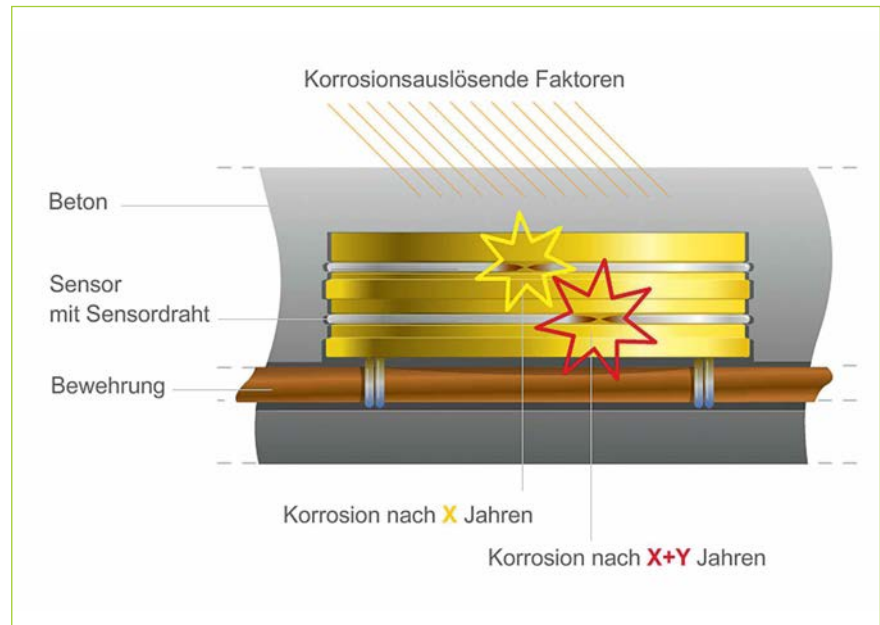


Abb. 4: Funktionsprinzip Korrosionssensor

für das Bauwerk ist, muss eine Möglichkeit geschaffen werden, eine Messung innerhalb des Betons einfach durchführen zu können.

Eine Möglichkeit hierzu bieten heute moderne Sensorsysteme für Korrosion, Feuchte oder Potential, die an den gefährdeten Punkten eines Bauwerks eingesetzt oder nachgerüstet werden können. Sie liefern kontinuierlich wertvolle Informationen über den Zustand des Bauwerks.

Zur Erfassung der Feuchtigkeitswerte dient dabei eine Wechselstrom-Widerstandsmessung zwischen zwei um einen Sensorkörper laufenden Metallbändern. Da der mit dem draht- und energielosen Sensor gemessene Elektrolytwiderstand temperaturabhängig ist, muss dieser für vergleichende Betrachtungen auf eine Bezugstemperatur korrigiert werden. Dies wird über eine Temperaturkompensation nach Arrhenius sichergestellt. Die Arrhenius-Gleichung beschreibt, wie die Beweglichkeit der Ionen in einer Flüssigkeit (hier: Porenflüssigkeit + vorhandenes Wasser im Beton) von der Temperatur abhängt.

Da die so ermittelten Werte (spezifischer elektrolytischer Widerstand in Ohm/m) für den größten Teil der

Anwender keine Aussagekraft haben, werden die Ausgangswerte mit den verwendeten Baustoffen referenziert, um einen aussagekräftigen und verständlichen Endwert in Masse-% der Feuchte zu erhalten.

Bei der Referenzierung eines Baustoffs werden vor dem Betonieren mehrere Baustoffproben genommen und während eines langsamen Austrocknens eine Korrelation zwischen gemessenem Widerstand und Gewichtsabnahme erstellt. Unter Beach-

### ANZEIGE

## MG-Spezialkleber

Hochwertiger Zweikomponentenkleber – schnell, hochfest für starre Materialien zur Zugfestigkeitsprüfung, Abreißprüfung bzw. Haftzugsprüfung an Beton-, Naturstein-, Estrich-, Mauerwerks und Stahloberflächen.

Hannelore Moser GmbH  
Kontakt: Tel.: 07681-9233  
E-Mail: info@mg-spezialkleber.de  
Home: www.mg-spezialkleber.de



Abb. 5: Einbaubeispiel Sensor in einer Kernlochbohrung

Die entsprechenden Sorptionsisothermen wird bei diesem Prozedere eine Temperaturkompensation vorgenommen, und die entsprechenden Werte werden in eine Software integriert, um einen automatisierten Prozess für den Anwender zu ermöglichen.

### Kenngröße »Korrosive Einflüsse«

Mit dem Wasser wird das für die Bewehrung schädliche Salz eingetragen. Salz führt im Zusammenhang mit Feuchtigkeit zur Auflösung der Bewehrung – ohne im Moment sichtbare Schadensbilder. Erst z. B. mit der Entstehung von Rissen wird erkennbar, dass ein größerer Schaden entstanden ist und damit hohe Instandsetzungskosten zu erwarten sind.

Um sicher korrosive Einflüsse im Bereich oberhalb der Bewehrung erfassen und bewerten zu können, wird die sogenannte Stellvertreterkorrosion angewendet. Die Korrosion eines Sensordrahtes stellt sicher, dass ein definiertes und für den Anwender eindeutiges Ereignis stattgefunden hat.

Die schädigenden Einflüsse, die auf den Sensordraht wirken, werden später mit Sicherheit auch die Bewehrung angreifen. In diesem Zusammenhang ist es auch wichtig, eine Flächenaussage über korrosive Einflüsse zu bekommen. Für die Bewertung des Risikos für das Bauwerk werden lediglich der Zeitpunkt der Montage sowie die Lage des Sensors über der Bewehrung benötigt. Mithilfe der noch vorhandenen zweiten Sensordrahtebene kann entweder der Korrosionsfortschritt oder der Instandsetzungserfolg (Prinzip »W«) beobachtet werden.

### Installation von Sensoren in das Bauwerk

Sensorsysteme müssen den unterschiedlichsten bautechnischen Anforderungen gerecht werden. Die Systeme müssen sowohl für den Neubaubereich als auch für die Instandsetzung (nachträglicher Einbau) geeignet sein. Dabei spielt für den Bereich des nachträglichen Einbaus die Ankopplung an den Altbeton eine entscheidende Rolle. Hierbei wird mit einem speziellen Ankoppelmörtel der Übergang vom Sensorkörper zum Altbeton sichergestellt. Entscheidend für das Funktionieren der Ankopplung ist ein geringer Abstand zwischen Sensorkörper und Altbeton. Technisch realisiert wird die Konstellation über den Gehäusedurchmesser (97 mm) und die entsprechende Kernlochbohrung (DN 100/104 mm).

Zusätzlich ergeben sich aus bautechnischen Anforderungen im Neubaubereich (Schäden, Risse oder Chlorid-Beeinflussungen können nicht vorhergesagt werden) wie



Abb. 6 a + b: Einbaubeispiele Flächensensor

auch aus Kostengründen Forderungen nach einem flächen-deckenden Sensorsystem.

### Erfassung und Bewertung der Daten aus dem Bauwerk

Bei der Installation von Sensorsystemen haben sich draht- und energielose Systeme seit zehn Jahren in der Praxis bewährt. Hierbei wird mit der sogenannten RFID-Technologie (Radio Frequenz Identifikation) die Energie für den Sensor und gleichzeitig die Übertragung der Daten aus dem Sensor sichergestellt.

Erst mit diesen energie- und drahtlosen Systemen kann eine sehr hohe Verfügbarkeit über einen extrem langen Zeitraum sichergestellt werden. Damit wird die Lebensdauer der Sensoren mit der Lebensdauer des Bauwerks verknüpft. Die im Laufe des Bauwerkslebens gesammelten Daten dienen nicht nur der Bewertung der Bauwerkssubstanz, sondern spielen im Sinne einer Wertsteigerung beim Verkauf des Bauwerks eine große monetäre Rolle.

Die Datenerfassung wird vor Ort vorgenommen und ist auch bei schwierigen Bedingungen, wenn z. B. der Sensor-Standort durch ein parkendes Auto überdeckt wird, sichergestellt. Als zusätzliche Information (rot = Abweichung vom Sollwert, grün = alles in Ordnung) wird dem Anwender der Sensorstatus während der Erfassung angezeigt. Die zugehörige Software bereitet die erfassten Daten für den Nutzer automatisch auf.

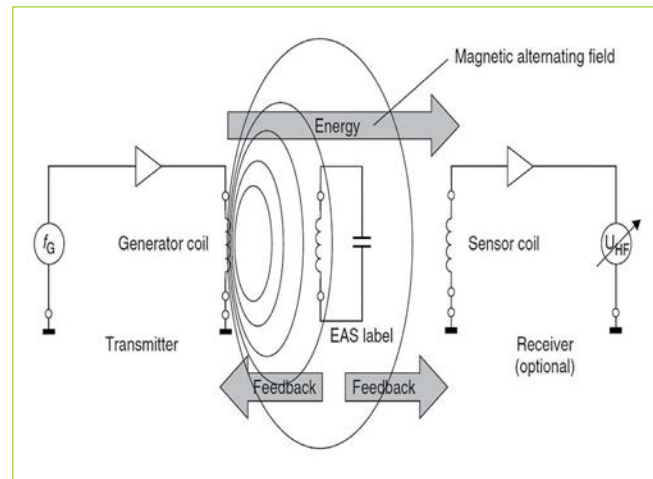


Abb. 7: RFID-Prinzip (Quelle: Yann-Rudolf Michel, TU Berlin, 2004)

Die Bewertung der erfassten Daten obliegt grundsätzlich dem zertifizierten sachkundigen Planer und dient als Grundlage für die Erstellung eines Instandhaltungskonzeptes für das Bauwerk. Hierbei sind die Inspektionsintervalle mit den erfassten Daten eine äußerst wichtige Grundlage für die Bewertung des Instandsetzungserfolgs. In der allgemeinen Praxis hat sich folgende Verfahrensweise bewährt:

1. Datenerfassung zur Definition des Status nach der Instandsetzung,
2. Datenerfassung je nach OS-System und Restrisiko x + 1 Jahr,
3. Datenerfassung x + 2 Jahre,
4. danach jedes Jahr.

Die endgültigen Inspektionsintervalle sind durch den zertifizierten sachkundigen Planer verbindlich zu definieren. Hintergrund dafür sind seine Kenntnisse der Schäden sowie des Restrisikos entsprechend der durch den Bauherrn freigegebenen Instandsetzungsvariante bzw. deren Umfang.



Abb. 8 a+b: Korrosions- und Feuchtesensor BS2 (Quelle: BS2 Sicherheitssysteme GmbH)



Abb. 9 a + b: Datenabfrage vor Ort

## Zusammenfassung

Es liegen funktionsfähige und erprobte Sensorsysteme vor, um objektgegeben eine reale Erfassung der Bauwerkskenndaten vorzunehmen bzw. eine Erfassung des Fortschreitens kritischer Entwicklungen aufzuzeigen. Neben der Risikobewertung chloridbelasteter Bauwerke im Instandsetzungsbereich können die vorhandenen Monitoringssysteme im Neubaubereich langfristig zu erheblichen

Kosteneinsparungen führen, z. B. im Bereich des Beschichtungsmonitorings.

Einen hohen Stellenwert besitzen Messdaten im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Mängelanzeigen. Die ermittelten Daten bieten dem Bauherrn Rechtssicherheit sowie die Grundlage für eine zügige Instandsetzung der angezeigten und nachgewiesenen Mängel.

## INFO/KONTAKT



### Wolfgang Hill

Wolfgang Hill war bis 2006 als Produktmanager für die unterirdische Infrastruktur in der Zentrale der T-Com tätig. Ab 2006 arbeitete er im Ingenieurbüro Selsan Consult GmbH als Leiter der Entwicklung. In dieser Zeit wurden neue Produkte, vor allem aber das System Korrosionsfrühwarnsystem CorroDec®, entwickelt und zur Serienreife geführt. Seit 2012 ist er in der Firma BS2 Sicherheitssysteme GmbH für die Weiterentwicklung und Anpassung der draht- und energielosen Sensortechnik an die verschiedensten baulichen Anforderungen zuständig. Daneben liegt seine Verantwortung auch im Bereich von sonstigen technischen Sonderlösungen rund um das Bauwerk.

Im Zusammenhang mit dem Monitoring von Betonbauwerken existieren umfangreiche Erfahrungen im Bereich des Korrosions-, Feuchte- und Potentialmonitorings, die in Zusammenarbeit mit Institutionen und Ingenieurbüros im In- und Ausland regelmäßig ausgetauscht werden.

BS2 Sicherheitssysteme GmbH  
Leiter Entwicklung  
An den Kreuzen 3  
56154 Boppard  
E-Mail: wolfgang.hill@bs2gruppe.de



### Dipl.-Ing. (FH) Rainer Eger

Dipl.-Ing. (FH) Rainer Eger leitet seit 2003 ein Ingenieurbüro für Beton- und Bauwerkinstandsetzung. Sein Team ist auf Tiefgarageninstandhaltung spezialisiert. Rainer Eger studierte Bauingenieurwesen an der Fachhochschule Augsburg und war im Anschluss zwölf Jahre in den Bereichen »Hochbau« und »Schlüsselfertiges Bauen« in der Bauleitung sowie als Oberbauleiter tätig.

Seit 2005 referiert der Sanierungsspezialist und zertifizierte sachkundige Planer für Betoninstandhaltung regelmäßig zu den Themen Instandsetzungsplanung und Betoninstandsetzung. Mit über 295 Tiefgaragenprojekten zählt Rainer Eger zu den erfahrensten Experten für Tiefgaragensanierung im süddeutschen Raum.

Ingenieurbüro Rainer Eger  
Dipl.-Ing. (FH) Rainer Eger  
Bgm.-Wohlfarth-Straße 16  
86343 Königsbrunn  
Tel.: 08231 9598606  
E-Mail: info@eger-ing.de  
Internet: www.eger-ing.de