

Herangehensweise am Beispiel einer Tiefgarage

## BIM-basierte Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken

Stefan Kubens, Julian Landis, Christoph Müller, Düsseldorf, Rebecca Achenbach, Aachen

Seit einigen Jahren steht Bauherren, Planern und Bauausführenden modellbasierte 3D-Konstruktionssoftware (BIM-Software) zur Verfügung. Bei BIM (Building Information Modeling) handelt es sich zum einen um digitale, dreidimensionale Bauwerksinformationen. BIM beschreibt darüber hinaus den Prozess, wie man gemeinsam entlang der Wertschöpfungskette effizient ein qualitativ hochwertiges Bauwerk errichtet [1, 2]. Kern der BIM-Methode ist der „digitale Zwilling“ des Bauwerks. Der digitale Zwilling enthält die geometrischen und semantischen Informationen des Bauwerks und der Baustoffe. Hierzu gehören z.B. Angaben zur Druckfestigkeitsklasse des Betons, zum w/z-Wert, zur Betondeckung und zu den Expositionsclassen. Neben den Materialeigenschaften können die Modelle auch Informationen zu Terminen und Kosten enthalten. Der Detailtiefe sind theoretisch keine Grenzen gesetzt. Verfügt der Bauherr oder Betreiber über digitale Bestandsmodelle, kann mit deren Hilfe eine Instandsetzungsplanung BIM-/modellbasiert durchgeführt werden. Der Beitrag stellt am Beispiel einer instand zu setzenden Tiefgarage eines Wohn- und Geschäftshauses die notwendigen Teilschritte einer modellbasierten Herangehensweise vor. Vorteile und die noch zu lösenden Herausforderungen bei der Verwendung von BIM-Software im Instandsetzungsbereich werden angesprochen. Basierend auf der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Instandsetzungs-Richtlinie) [3] wird die Bedeutung eines Anforderungskatalogs für eine BIM-basierte Instandsetzungsplanung deutlich.

### 1 Einleitung

Langfristig wird der BIM-Prozess (Building Information Modeling) voraussichtlich die klassische 2D-Planung im Hoch- und Ingenieurbau ersetzen. Am Ende einer BIM-basierten Planung und Bauausführung verfügt der Bauherr neben einem Bauwerk damit auch über den digitalen Zwilling seines Bauwerks. Der digitale Zwilling ist die Wiedergabe des Bauwerks im Ist-Zustand (unmittelbar nach Fertigstellung) im virtuellen Raum. Der digitale Zwilling enthält neben den geometrischen Informationen verschiedener Gewerke (z.B. Tragwerksplanung, Grundbau, TGA, Brandschutz) auch die baustoff- bzw. produktspezifischen Informationen zum Bauwerk.

Der Detaillierungsgrad eines Modells für den Ist-Zustand ist vergleichsweise hoch. Verallgemeinernd kann man sagen, dass im BIM-Prozess mit fortschreitender Planungstiefe die Detailtiefe zunimmt. Dies ist ein logischer Schritt, da mit einer reiferen Planungsphase ein höherer Detaillierungsgrad im Austausch zwischen den Projektbeteiligten notwendig ist [1]. Am Ende des Planungs- und Bauprozesses steht daher ein Modell der höchsten Detailstufe.

Geht man davon aus, dass es in Zukunft eine Vielzahl von BIM-geplanten Bauwerken und deren digitaler Zwillinge geben wird, liegt es auf der Hand, dass die digi-

talen Zwillinge in der Nutzungsphase für Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufgaben verwendet werden. Sowohl für den Betreiber eines Bürogebäudes als auch einen Baulastträger im Infrastrukturbereich ergibt es Sinn, die Modelle in der Nutzungsphase des Bauwerks zu verwenden. Wäh-

rend der Betreiber eines Bürogebäudes eher an der Nutzung der Modelle für Aufgaben im Bereich Facility Management (z.B. TGA oder Flächennutzung) interessiert ist, werden bei den Infrastrukturbauwerken die Modelle eher mit den in Zukunft durchzuführenden Bauwerksuntersuchungen und

### Die Autoren:

**Dr.-Ing. Stefan Kubens** studierte Bauingenieurwesen an der Bauhaus Universität Weimar. Nach der Promotion am Innovation Center Iceland (in Kooperation mit FIB Weimar und Technion Haifa) und einigen Jahren in einem norwegischen Fertigteilvernehmen arbeitet Stefan Kubens heute in der Abteilung Betontechnik der VDZ gGmbH.

**Julian Landis** hat seine Masterarbeit am Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen (ibac) zum Thema BIM-basierte Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken als externer Masterstudent in der Abteilung Betontechnik der VDZ gGmbH geschrieben.

**Dr.-Ing. Christoph Müller** studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen mit der Fachrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau“. Nach Abschluss des Studiums arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac), wo er im Jahr 2000 zum Thema „Beton als kreislaufgerechter

Baustoff“ promovierte. Seit Mai 2000 arbeitet er im Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) Düsseldorf in der Abteilung Betontechnik. Er beschäftigt sich dort mit allen Bereichen der Betontechnologie und ist Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Normungsgremien des Betonbaus. Seit Beginn des Jahres 2007 ist er Leiter der Abteilung Betontechnik im FIZ und seit 2010 Obmann des CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“. Er ist Mitglied des Vorstands und des engeren Vorstands des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) und seit Beginn des Jahres 2012 Geschäftsführer der VDZ gGmbH und seit 2014 Honorarprofessor an der Ruhr-Universität Bochum (RUB).

**Rebecca Achenbach M. Sc.** studierte Umweltingenieurwissenschaften an der RWTH Aachen University. Seit 2017 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin am Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen (ibac) in der Arbeitsgruppe „Stahl und Korrosion“.

den Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufgaben verknüpft werden.

Unabhängig vom Schwerpunkt der Nutzung stellen sich grundsätzlich folgende Fragen:

- 1) Wie können die geometrischen und semantischen Informationen in den Bestandsmodellen möglichst sinnvoll genutzt werden?
- 2) Lässt sich durch den modellbasierten Ansatz bei Instandhaltungs- und Instandsetzungsbedarf die Produktivität aus Betreibersicht steigern?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden nachfolgend wesentliche Elemente einer BIM-basierten Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken vorgestellt und diskutiert.

## 2 Die IFC-Schnittstelle

Baulastträger, die ihren Bauwerksbestand modellbasiert verwalten, dürften ein Interesse daran haben, auch die Zustandserfassung und Instandsetzungsplanung modellbasiert auszuführen oder ausführen zu lassen.

Im Idealfall verfügt der Bauherr über ein Bestandsmodell, das er in seiner nativen Software (z.B. Autodesk Revit, ArchiCAD, Bentley, Tekla Structures) weiterhin bearbeiten/anpassen kann. Dies wird heute eher der Ausnahmefall sein. In der überwiegenden Zahl der Fälle wird es heute so sein, dass der Bauherr den digitalen Zwilling seines Bauwerks im IFC-Format vorliegen hat. Zusätzlich wird der Bauherr über die Teilmodelle der einzelnen Gewerke im IFC-Format verfügen. IFC steht für Industrial Foundation Classes und beschreibt eine ISO-konforme Schnittstelle zum Datenaustausch zwischen unterschiedlicher BIM-Software. Über die IFC-Schnittstelle gelangen geometrische und semantische Informationen von einer nativen Softwarelösung in eine andere. Hierzu speichert man ein Modell als IFC-Datei in einer Softwareumgebung ab (z.B. Autodesk Revit) und liest anschließend diese IFC-Datei in einer anderen Softwareumgebung (z.B. Tekla Structures) als Referenzdatei ein. Man kann sich die IFC-Schnittstelle also auch als eine Art Transportcontainer vorstellen, in dem sämtliche relevanten Daten zu einem Bauwerk, zur Nutzung in einer anderen Softwareumgebung, zwischengespeichert sind.

## 3 Vom Modell zur Instandsetzungsplanung

Die Mehrzahl der in Deutschland vorhandenen Stahlbetonbauwerke ist nicht digitalisiert, d.h. es gibt keinen digitalen Zwilling. Der Bauherr/Betreiber verfügt z.B. über eine große Anzahl mehr oder weniger aktueller Bestandspläne sowie eigene und extern erstellte Bauwerksberichte. Der tatsächliche Bauwerkszustand und die sich daraus ergebenden Zusammenhänge liegen nicht in einem zentralen Modell vor. Die Informationen können daher heute selten an einer Stelle schnell abgerufen bzw. zusammengeführt werden. Der modellbasierte Ansatz umgeht diese Schwachstelle mit Hilfe der

Darstellung des Bestands und der Schadenserschaffung in einem geometrisch und semantisch verknüpften Modell.

Für den modellbasierten Ansatz im Instandhaltungs- und Instandsetzungsbereich sind drei Teilschritte notwendig (Bild 1):

- 1) Erstellung des digitalen Zwillings des Bauwerks
- 2) Dokumentation des Bauwerkszustands/der Schäden in einem Teilmodell „Schadenserschaffung/Einwirkungen“
- 3) Erstellung der Instandsetzungslösung in einem Teilmodell „Instandsetzungslösung“

Die Grundlage für eine modellbasierte Arbeitsweise ist Teilschritt 1), die Erstellung des digitalen Zwillings des Bestandsbauwerks. Liegt kein digitaler Zwilling des Bestands vor, kann dieser mit Hilfe von Bestandsplänen und Punktwolken aus Laserscans relativ schnell erstellt werden. Mit zunehmender Detailtiefe steigt der zu betreibende Aufwand. Als Ergebnis hat der Betreiber ein Modell, in dem das Bauwerk geometrisch und semantisch beschrieben ist. Die Information aus zum Teil Dutzenden Papierplänen befinden sich nun in einem Modell, auf das nachfolgend von mehreren Personen und mit unterschiedlicher Intention zugegriffen werden kann.

Teilschritt 2) besteht in der Zustandserfassung des Bauwerks. Hierfür ist das Ergebnis von Teilschritt 1), also der digitale Zwilling, die Grundlage. Die Dokumentation von Bauwerksschäden kann wie heutzutage üblich auf Papierplänen oder auch modellbasiert mit entsprechenden Softwarelösungen geschehen.

Teilschritt 3) beinhaltet die modellbasierte Instandsetzungsplanung. Das Instandsetzungssystem wird geometrisch und bezüglich seiner technischen Eigenschaften beschrieben. Die Instandsetzungsplanung wird nicht im Bestandsmodell erstellt, sondern im Modell „Instandsetzungsplanung“, in dem sich Bestands- und Zustandserfassungsmodell als Referenzobjekte befinden können. Das Modell „Instandsetzungslösung“ kann aus mehreren Teilmodellen bestehen, wie z.B.:

- Teilmodell Betonabtrag, in dem die instand zu setzenden Stahlbetonbauteile nach Betonabtrag dargestellt werden,
- Teilmodell Betonerersatz, in dem die instand zu setzenden Stahlbetonbauteile nach Auftrag eines Betonerersatzsystems dargestellt werden,
- Teilmodell OS-System, in dem die Oberflächenschutzsysteme dargestellt werden.

Das Teilmodell „Instandsetzungsplanung“ basiert auf dem Inhalt des Teilmodells „Zustandserfassung“. Zur Verknüpfung der beiden Teilmodelle „Zustandserfassung“ und „Instandsetzungsplanung“ bietet es sich an, die Instandsetzungsrichtlinie [3] des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb), die als Gelbdruck vorliegende DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie [4] (alternativ Technische Regel "Instandhaltung von Betonbauteilen" des DIBt), das BAW-Merkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung [5] und die BAW-Empfehlung Instandsetzungs-

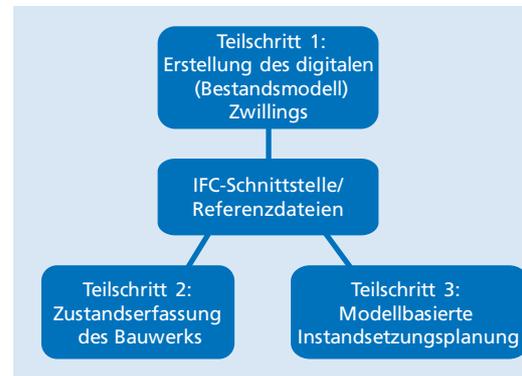


Bild 1: Modellbasierte Herangehensweise

produkte [6] zu verwenden. Die aus den Richtlinien stammenden Merkmale zur Beschreibung des Bauwerkszustands und die Merkmale der Instandsetzungslösung können als Attribute für den IFC-basierten Datenaustausch genutzt werden.

Da es sich hier um spezielle Attribute aus dem Bereich Betoninstandsetzung handelt, wäre es sinnvoll, über die Erweiterung der bestehenden IFC-Schnittstelle um instandsetzungsspezifische Attribute nachzudenken. Nur so kann ein plattformunabhängiger Datenaustausch gewährleistet werden. Dies wäre eine Schnittstelle, die gezielt die Anforderungen und Merkmale aus der Instandsetzungs- bzw. Instandhaltungsrichtlinie des DAfStb sowie den BAW-Empfehlungen beinhaltet. In einem weiteren Schritt könnten dann die Attribute aus dem Bestandsmodell mit Attributen aus Instandsetzungslösungen verknüpft werden. Durch die logische Verknüpfung von Merkmalen und Lösungen aus der Instandhaltungsrichtlinie wird der Weg vom Bauwerksschaden zu einer dauerhaften Instandsetzungslösung einfacher, produktiver und weniger fehleranfällig.

## 4 Erstellung des digitalen Zwillings

Ist kein digitaler Zwilling vorhanden, so kann dieser mit Hilfe von Bestandsplänen, Punktwolken oder Photogrammetrie erstellt werden. Als Beispiel sei hier ein mehr als 90 Jahre altes Schleusenbauwerk genannt (Bild 2), von dem kein digitaler Zwilling existierte. Für die Erstellung des digitalen Zwillings (Bild 3) wurden Bestandspläne des Baulastträgers verwendet. Nach ungefähr sieben bis acht Arbeitstagen war das Schleusenbauwerk in einer Detailstufe entsprechend LOD200/300 digitalisiert. Das Modell enthielt Informationen zu Bauteilbezeichnungen, Material, plangemäßer Betondeckung, plangemäßer Abmessungen und Oberflächen, plangemäßer Bewehrung, Höhenlagen der Bauteile im virtuellen Raum und partiell auch zu den Stahlwasserbauteilen (Bild 4 und Tafel 1). Solch ein Modell hat einen höheren Informationsgehalt als die dafür verwendeten Papierzeichnungen, weil Grundrisse, Schnitte und Ansichten im virtuellen Raum an jeder beliebigen Stelle abgeleitet werden können. Oder in anderen Worten, aus einem BIM-3D-Modell können unendlich viele Schnitte abgeleitet werden.

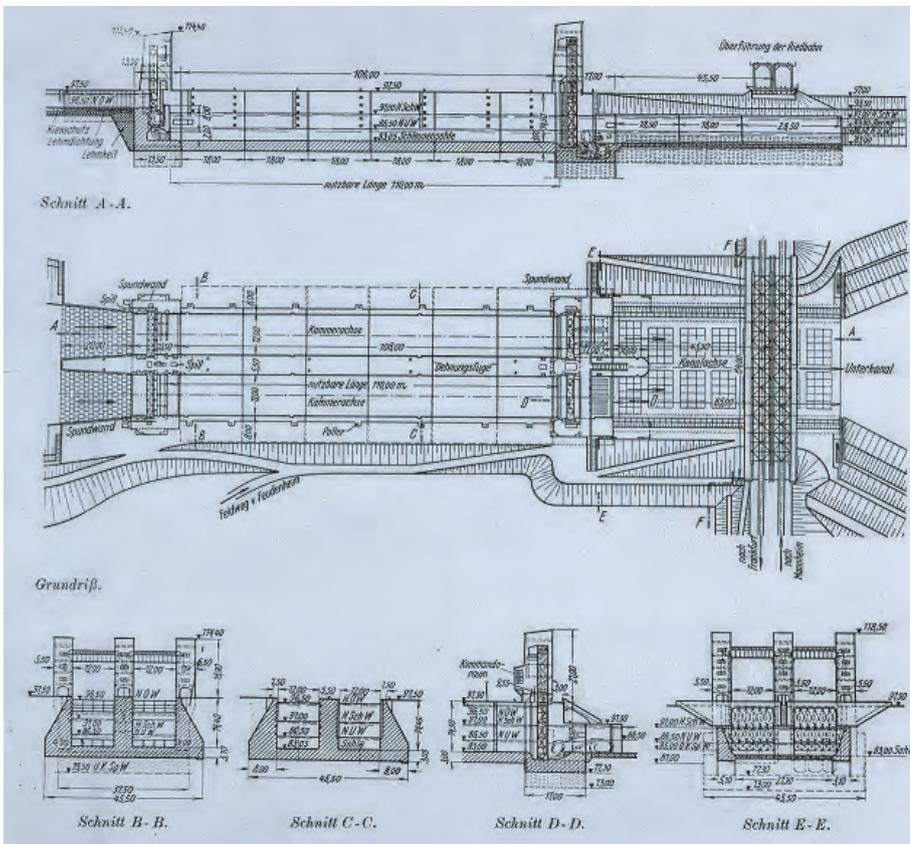


Bild 2: Bestandspläne des Schleusenbauwerks aus den 1920er Jahren

Einfacher wird es, wenn von dem zu untersuchenden und instand zu setzenden Bauwerk bereits ein Modell existiert. Dies war der Fall bei dem im weiteren Verlauf dieses Beitrags behandelten Wohn- und Geschäftshaus mit einer Tiefgarageneinheit. Solch ein Modell muss nicht in der nativen Softwareumgebung vorliegen. Ein einfaches IFC-Modell ist ausreichend. Liegt ein Bestandsmodell im IFC-Format vor, so ist die Nachmodellierung für erfahrene BIM-Konstrukteure in einer nativen Softwareumgebung eher eine Sache von Stunden als von Tagen.

## 5 BIM-kompatible Zustandserfassung

Die Erfassung von mechanischen, physikalischen und chemischen Einwirkungen aus

Exposition und Betrieb geschieht weiterhin am Bauwerk im Rahmen einer Bauwerksuntersuchung. Im Rahmen einer Bauwerksuntersuchung an einem Stahlbetonbauwerk werden häufig folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Betondeckungsmessung,
- Carbonatisierungsprüfung,
- Rückprallhammerprüfungen,
- Haftzugversuche,
- Bohrkernentnahme zur Bestimmung verschiedenster Festbetonparameter,
- Chloridgehaltsmessungen in Tiefenstufen,
- Potenzialfeldmessung zur Lokalisierung aktiver Korrosion.

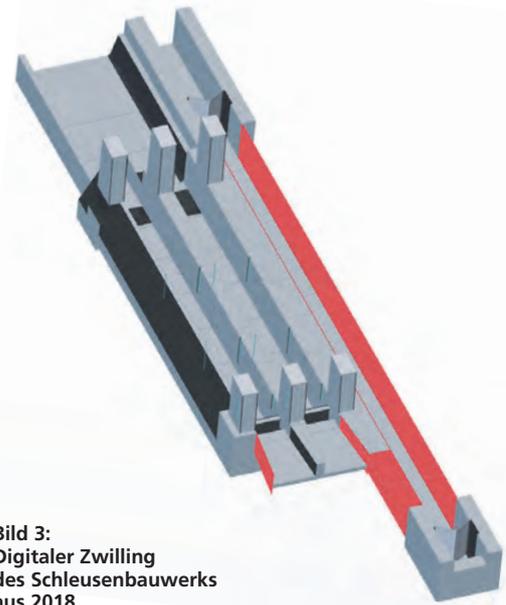


Bild 3: Digitaler Zwilling des Schleusenbauwerks aus 2018

Die Lage der Probestellen und der daran erzielten Ergebnisse kann auf unterschiedliche Weise in einer BIM-Software dargestellt werden. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es die einfachste Lösung, die Schäden und Ergebnisse der Laboruntersuchungen in einer dwg-Zeichnung darzustellen. Die zu AutoCAD entwickelten Dateiformate dwg und dxf bilden einen Industriestandard zum Austausch von CAD-Daten. Eine dwg-Zeichnung kann von jeder BIM-Software als Referenzdatei gelesen und im 3D-Modell dargestellt werden. Der rein modellbasierte Ansatz würde auf Platzhaltern für Bohrkern und Schäden mit zugehörigen Attributen beruhen. Die Attribute sind identisch mit den Merkmalen zur Bauwerksbeschreibung in [3, 4]. Das lässt sich am Beispiel eines entnommenen Bohrkerns beschreiben. Im Modell würde an der Bohrkernentnahmestelle ein entsprechender Volumenkörper eingefügt werden. Der Volumenkörper könnte dann mit einer ganzen Reihe von Attributen versehen werden. Tafel 2 zeigt eine Erweiterung der IFC-Schnittstelle um instandsetzungsspezifische Attribute, die zur Bauwerksbeschreibung sinnvoll wären.

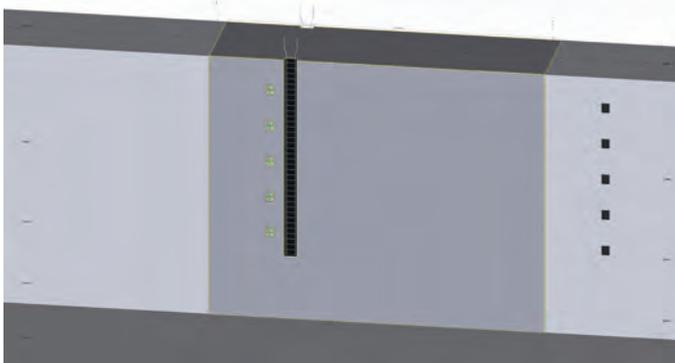


Bild 4: Kammerwand des Schleusenbauwerks

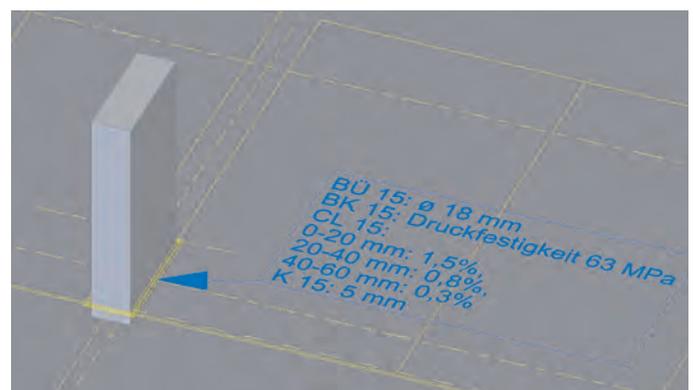


Bild 5: BIM-3D-Modell der Stahlbetonstütze in Achse E/4 der Tiefgaragenebene mit eingefügter Referenzdatei mit den Ergebnissen der Bauwerksuntersuchung (Modell Zustandserfassung)

**Tafel 1: Auswahl semantischer Informationen zur Kammerwand aus Bild 4 des Schleusenbauwerks**

| Attribut                  | Wert                |
|---------------------------|---------------------|
| Name                      | Kammerwand          |
| Länge [mm]                | 17980               |
| Breite [mm]               | 5500                |
| Höhe [mm]                 | 14500               |
| OK (H ü.NN)               | +97,500             |
| UK (H ü. NN)              | +83,000             |
| Startkoordinate (X; Y; Z) | 51,51; 36,75; 83,00 |
| Endkoordinate (X; Y; Z)   | 69,49; 36,75; 83,00 |
| Schwerpunkt (X; Y; Z)     | 60,48; 36,75; 90,24 |
| Volumen [m³]              | 1428,85             |
| Gewicht [t]               | 3429,23             |
| Oberfläche [m²]           | 895,75              |
| Material                  | Beton/Bestand       |

Die IFC-Schnittstelle verfügt zum jetzigen Zeitpunkt nicht über o.g. Merkmale. Daher kann es zweckmäßig sein, über eine Erweiterung der bestehenden IFC-Schnittstelle um Instandsetzungsspezifische Merkmale nachzudenken. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Ergebnisse der Bauwerksuntersuchung an der Tiefgarage an dieser Stelle in einer dwg-Zeichnung dargestellt (Bild 5).

Die Ergebnisse der Bauwerksuntersuchung werden hierzu in einer dwg-Zeichnung, die aus dem BIM-3D-Bestandsmodell abgeleitet wurde, hinterlegt. Theoretisch ist es auch möglich, Ansichtszeichnungen im dwg-Format aus dem BIM-3D-Modell abzuleiten und diese als Kartierungsunterlagen für die Bauwerksuntersuchung zu nutzen.

Eine lagemäßig genaue Dokumentation ist beispielsweise bei der Darstellung der Ergebnisse der Potenzialfeldmessung sinnvoll. Nach Durchführung der Potenzialfeldmessung und Auswertung von Sichtöffnungen kann mit relativ hoher Sicherheit der Bereich eines Bauteils identifiziert werden, in dem aktive Korrosion stattfindet. Dieser Bereich lässt sich mit Hilfe einer dwg-Zeichnung als Referenzdatei (Bild 6) auch im BIM-3D-Modell darstellen.

## 6 Modellbasierte Instandsetzungslösung

Nachdem die Ergebnisse der Bauwerksuntersuchung als Referenzdateien im BIM-3D-Modell vorliegen, kann im Anschluss die Instandsetzungslösung modellbasiert geplant werden. Hierzu werden hier die Instandsetzungslösungen aus der DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie [3] verwendet. Die Ergebnisse der Bauwerksuntersuchung waren im verwendeten Beispiel wie folgt zusammenzufassen.

- die Betondeckungen entsprachen nicht dem plangemäßen Zustand und lagen im Schnitt bei 20 mm bis 25 mm,

**Tafel 2: Vorschlag für eine Attributliste zur Erweiterung der IFC-Schnittstelle für die Beschreibung eines Bohrkerns und seiner Eigenschaften nach [3, 4]**

| IFC4concrete-repair-Attribute     | Wert   |
|-----------------------------------|--|
| Optischer Eindruck                | Auswahl aus Abplatzungen, Risse, Rostfahnen, Ausblühungen, Verschmutzungen, Absandungen, Frostschäden                        |
| Hohlstellen                       | ja/nein  |
| Betondeckung                      | x mm   |
| Abdichtung                        | Funktionsfähig ja/nein   |
| Bewehrungskorrosion               | ja/nein  |
| Restquerschnitt                   | x %  |
| Druckfestigkeit                   | x MPa  |
| Oberflächenzugfestigkeit          | x MPa  |
| Spaltzugfestigkeit                | x MPa  |
| Rückprallwerte                    | x Rm   |
| Carbonatisierungstiefe            | x mm   |
| Chloridbelastung/Chloridprofil    | 0...20 mm: x % bezogen auf Zementmenge<br>20...40 mm: x % bezogen auf Zementmenge<br>40...60 mm: x % bezogen auf Zementmenge |
| Bauwerksalter                     | x Jahre  |
| Restlebensdauer Carbonatisierung  | x Jahre  |
| Restlebensdauer Chlorideinwirkung | x Jahre  |
| Gesamtporosität                   | x %  |
| Wasseraufnahmekoeffizient         | x %  |

- die Carbonatisierungstiefen waren mit 5 mm bis 10 mm relativ niedrig,
- die Betondruckfestigkeiten und Haftzugfestigkeiten lagen im Bereich des Üblichen, entsprechend der verwendeten Betone,
- der Beton wies keinen ausreichend großen Chlorideindringwiderstand auf, erkennbar an den relativ hohen Chloridgehalten bis hinter die Bewehrung,
- die Betonoberfläche verfügte über kein Oberflächenschutzsystem
- die Bewehrung im Bereich der Bodenplatte, Wand- und Stützenfüße wies örtlich aktive Korrosion auf.

Die Aufgabe der Instandsetzungslösung ist es, den Ist-Zustand des Bauwerks so zu verbessern, dass eine Mindestrestnutzungsdauer von 35 Jahren (Bauwerksalter: 15 Jahre) erreicht wird (Bild 7).

Die verwendete technische Lösung zur Instandsetzung der Stützenfüße und Wandfüße entspricht dem Instandsetzungsprinzip R1-C1 [3]. Die Instandsetzungslösung für o.g. Bauteile sah wie folgt aus:

- Abtrag einer ca. 5 cm dicken Schicht des Altbetons mit HDW an allen Stützensseiten bis 50 cm über OK Bodenplatte,



**Bild 6: BIM-3D-Modell der Tiefgaragenebene mit Ergebnissen der Potenzialfelduntersuchung (Modell Zustandserfassung) [7]**

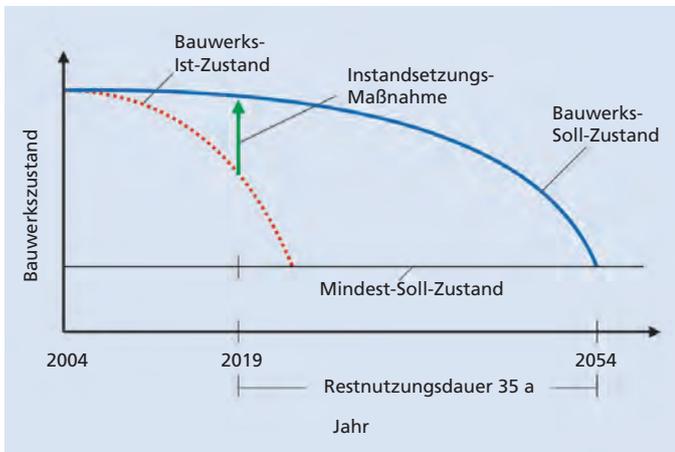


Bild 7: Darstellung des Soll- und Ist-Zustands der Tiefgarage

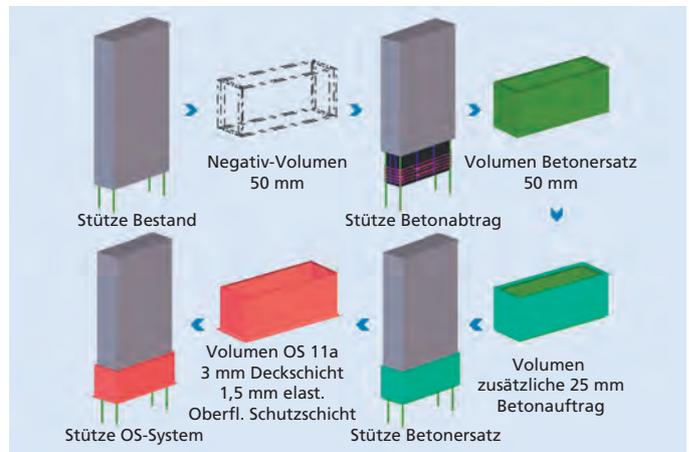


Bild 8: Modellbasierte Instandsetzungsplanung eines Stützenfußes [7]

- Untergrundvorbereitung der Beton- und Stahloberfläche (Rautiefe RT 1,5 mm),
- Reprofilierung der Bauteilgeometrie mit SPCC 8 mm, 20 mm über alte Bauteilgeometrie zur Erhöhung der Betondeckung bis 50 cm über OK Bodenplatte,
- Nach Reprofilierung der Bodenplatte mit Normalbeton C35/45 erfolgt die Betonuntergrundvorbereitung mittels Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln im Wand- und Stützenfußbereich bis 0,5 m über OK Bodenplatte für Auftrag eines OS11-Systems, Rauigkeitsklasse RT 0,5 mm,
- Betonuntergrundvorbereitung der gesamten Bodenplatte mittels Kugelstrahlen für Auftrag eines OS11a-Systems, Rauigkeitsklasse RT 0,5 mm
- Auftrag eines OS11a auf Bodenplatte, Wand- und Stützenfußbereich nach Ausbildung einer Hohlkehle im Fußbereich

Der Beton des gespritzten Betonersatzsystems im Stützenfußbereich musste folgenden Anforderungen entsprechen:

- Festigkeitsklasse Altbeton C45/55,
- Bewehrungskorrosion infolge Carbonatisierung XC3,
- Bewehrungskorrosion durch Chloride ausgenommen Meerwasser, mäßige Feuchte, Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen XD1,
- Feuchtigkeitsklasse WA.

Die Mindestanforderungen an das Material wurden wie folgt festgelegt:

- Druckfestigkeit 28 d  $\geq 60 \text{ N/mm}^2$
- Statischer E-Modul 28 d  $\leq 30000 \text{ N/mm}^2$
- Schwinden: Schwindmaß 180 Tage  $\leq 1,0 \text{ mm/m}$ ; Schwindrinne keine Risse,
- Wassereindringtiefe 28 d  $< 30 \text{ mm}$

Bei einer modellbasierten Instandsetzungsplanung werden die einzelnen Instandsetzungsschritte geometrisch und semantisch im Instandsetzungsmodell analog der Baustellensituation einzeln aufgeführt. Am Beispiel eines Stützenfußes ist dies in Bild 8 dargestellt und wird nachfolgend erläutert. Die Bauwerksuntersuchung hat ergeben, dass die plangemäße Betondeckung im Bereich des Stützenfußes nicht erreicht wurde

und das 5%-Quantil der Betondeckung bspw. bei 20 mm liegt. Dieser Wert wird im Stützelement eingestellt. Der nächste Schritt ist der Betonabtrag am Stützenfuß. Je nach Eindringtiefe der Medien ( $\text{CO}_2$  oder Chloride) wird die Abtragtiefe und das Verfahren (bei Stützenfuß i.d.R. Hochdruckwasserstrahlen mit Handlanze) gewählt. Im Beispiel lag die Abtragtiefe bei 50 mm. Das Negativ-Volumen in Bild 8 entspricht dem HDW-Abtrag. Als Ergebnis hat man einen Stützenfuß, dessen Längs- und Bügelbewehrung teilweise freiliegt. Nach der Oberflächenvorbereitung wird der Stützenfuß 25 mm über die ursprüngliche Bauteilgeometrie hinaus mit SPCC 8 mm reprofiliert. Bewehrung, die bisher eine Betondeckung im Bereich des 5%-Quantils aufwies, verfügt damit über eine plangemäße Betondeckung von 45 mm. Anschließend erfolgt die Aufbringung eines OS-Systems (hier OS11a) im Stützenfußbereich nach Ausbildung einer Hohlkehle (vgl. Bild 8).

Die Instandsetzungsplanung kann nun im Teilmodell „Instandsetzungsplanung“ modelliert werden. Die beiden Teilmodelle „Bestand“ und „Zustandserfassung“ aus den Teilschritten 1) und 2) liegen als Referenz-

objekte im Teilmodell „Instandsetzungsplanung“ vor. Könnte man nun auf eine, um die instandsetzungsspezifischen Attribute erweiterte IFC-Schnittstelle zurückgreifen, die die Merkmale zur Beschreibung des Bauwerkszustands (vgl. Tafel 2) und die Merkmale der Instandsetzungs-lösungen (Tafel 3) nach DAfStb-Richtlinien bereits enthält, dann wäre eine logische Verknüpfung dieser Merkmale für den Planer äußerst hilfreich. Die Merkmale des Teilmodells „Zustandserfassung“ sind maßgebend für die Wahl der richtigen Instandsetzungsverfahren. Bei bestimmten Merkmalen oder Bauteilzuständen sind bestimmte Lösungen auszuschließen, andere dafür anzuwenden (vgl. auch Bild 9).

## 7 Modellbasierte Ableitung der Instandsetzungslösung aus der Schadenserfassung

Die für die Instandsetzungslösung entscheidenden Informationen stecken beim modellbasierten Ansatz im Modell „Bestand“ und im Modell „Zustandserfassung“ bzw. den Referenzdateien. Hierzu zählen Informationen wie z.B. Betondeckung, Druckfestigkeitsklassen/Altbetonklassen, w/z-Werte,

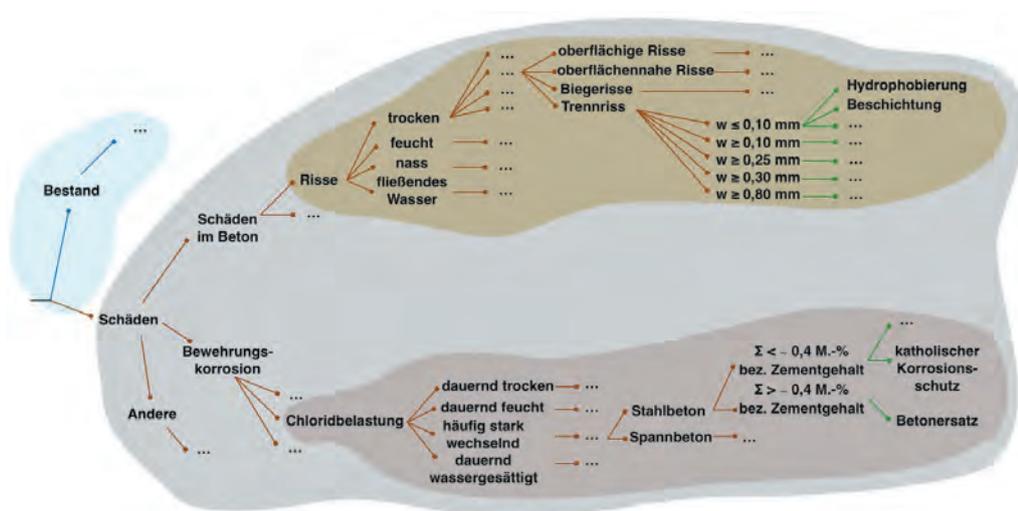


Bild 9: Hierarchische Organisation der Schäden nach DAfStb-Richtlinie [7]

**Tafel 3: Vorschlag für eine Erweiterung der IFC-Schnittstelle zur Beschreibung der Instandsetzungslösung R1-CI nach [3], [3-6]**

| IFC4concrete-repair-Attribute                      | Wert  |
|--|---|
| Länge  | x mm  |
| Höhe   | x mm  |
| Tiefe  | x mm  |
| Untergrundvorbereitung Beton                       | Verfahren xyz   |
| Untergrundvorbereitung Stahl                       | Verfahren xyz   |
| Anforderungen Betonuntergrund                      | x N/mm <sup>2</sup>   |
| Korrosionsschutz Bewehrung                         | Auswahl aus Korrosionsschutzmaterialien   |
| Betonersatzsystem                                  | Auswahl aus PC, PCC, SPCC, Spritzbeton  |
| Druckfestigkeitsklasse                             | Auswahl an C X/Y  |
| Luftgehalt   | ≤ oder ≥ x %  |
| Rohdichte  | ≤ oder ≥ x kg/dm <sup>3</sup>   |
| E-Modul (statisch)                                 | ≤ oder ≥ x GPa  |
| Schwinden  | ≤ x ‰ nach 28/90 Tagen  |
| Biegezugfestigkeit                                 | ≥ x N/mm <sup>2</sup> nach 28/90 Tagen  |
| Expositionsklasse Frost mit und ohne Taumittel     | Auswahl aus XF  |
| Frostwiderstand CIF (XF3)                          | Mittelwert ≤ 1000 g/m <sup>2</sup><br>relativer dynamischer E-Modul R <sub>u,n</sub> = 0,75 |
| Frostwiderstand CDF (XF4)                          | Mittelwert ≤ 1500 g/m <sup>2</sup><br>relativer dynamischer E-Modul R <sub>u,n</sub> = 0,75 |
| Expositionsklasse Carbonatisierung                 | Auswahl aus XC  |
| Carbonatisierungswiderstand d <sub>K,90</sub>      | ≤ x mm  |
| Zusätzliche Betondeckung                           | x mm  |
| Resultierende Mindestbetondeckung c <sub>min</sub> | x mm  |
| Planmäßige Nutzungsdauer Carbonatisierung          | x Jahre   |
| Expositionsklasse Chlorideinwirkung                | Auswahl aus XD/XS   |
| Chloridmigrationskoeffizient D <sub>RCM</sub>      | x [10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s]   |
| Zusätzliche Betondeckung                           | x mm  |
| Resultierende Mindestbetondeckung c <sub>min</sub> | x mm  |
| Planmäßige Nutzungsdauer Chlorideinwirkung         | x Jahre   |
| OS-System  | Auswahl aus OS  |
| Anforderungen Betonuntergrund                      | x N/mm <sup>2</sup>   |
| Anzahl der Schichten                               | x   |
| Mindestschichtdicke Lage 1                         | x μm  |
| Mindestschichtdicke Lage 2                         | x μm  |
| Rissüberbrückungsklasse                            | Auswahl an Klassen  |

Expositionsklassen, Carbonisierungstiefen und Chloridprofile. Schäden, die an einem Bauwerk auftreten können, sind nach der Richtlinie in drei Klassen eingeteilt. In Bild 9 ist ein klassischer Schaden (hier Trennriss  $w \leq 0,10$  mm) für „Schäden im Beton“, sowie ein Schaden aufgrund von „Bewehrungskorrosion“ (hier Chloridbelastung in Stahlbeton  $\Sigma \geq 0,4$  M.-% bezogen auf die Zementmenge) dargestellt.

Im Rahmen einer Bauwerksuntersuchung stellt ein Sachkundiger Planer mehrere Schäden am Bauwerk fest. In Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie werden die Schäden klassifiziert und im Modell „Zustandserfassung“ hinterlegt. Wurde beispielsweise eine hohe Chloridbelastung in einem Stahlbetonstützenfuß (häufig stark wechselnd) nachgewiesen und beginnende Bewehrungskorrosion durch Sondierungsöffnungen am Bau-

teil bestätigt, so ergibt sich hierdurch eine Instandsetzungslösung, die den Abtrag des chloridbelasteten Betons, die Reprofilierung mit einem Betonersatzsystem und den Auftrag eines geeigneten OS-Systems vorsieht. Das bedeutet, dass bestimmte Merkmale des Modells „Zustandserfassung“ zur Auswahl einer bestimmten Instandsetzungslösung führen. Am Beispiel des Stützenfußes sieht dies wie folgt aus: Die Attribute Betondeckung und Chloridbelastung/Chloridprofil aus dem Modell „Zustandserfassung“ (vgl. Tafel 2) beeinflussen dann die Attribute Tiefe, Betonersatzsystem, Chloridmigrationskoeffizient, zusätzliche Betondeckung und resultierende Mindestbetondeckung aus dem Modell „Instandsetzungslösung“ (vgl. Tafel 3).

Die Verknüpfung der Merkmale aus dem Modell „Zustandserfassung“ mit den Merkmalen der Instandsetzungslösung könnte Aufgabe einer Software sein. Eine solche Software könnte sowohl von Infrastrukturbetreibern, Planern und Bauunternehmen genutzt werden.

## 8 Zusammenfassung

Der Einsatz von BIM-Software ist nicht nur bei Neubaumaßnahmen ein sinnvoller Schritt in Richtung eines digitalisierten Planungsprozesses. Auch im Instandhaltungs- und Instandsetzungsbereich bietet sich der modellbasierte Ansatz als Alternative zur bisherigen 2D-Planung an. Sobald die IFC-Schnittstelle um instandsetzungsspezifische Merkmale erweitert wurde, können Schadensdokumentation und Instandsetzungsplanung logisch und transparent miteinander verknüpft werden.

## Literatur

- [1] BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley John + Sons, Hoboken 2011
- [2] BIM-Kompodium, Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2016
- [3] DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen Teil 1 bis Teil 4“, Ausgabe Oktober 2001. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2001
- [4] DAfStb-Richtlinie „Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungsrichtlinie)“, Entwurf Stand 08.06.2018. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2018 (alternativ Technische Regel „Instandhaltung von Betonbauteilen“ des DIBt)
- [5] BAW-Merkblatt „Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung“. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe 2017
- [6] BAW-Empfehlung „Instandsetzungsprodukte Hinweise für den Sachkundigen Planer zu bauwerksbezogenen Produktmerkmalen und Prüfverfahren“. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe 2017
- [7] BIM-basierte Instandsetzung von Stahlbetonbauteilen. Masterarbeit an der RWTH Aachen, Aachen 2019
- [8] Zement-Merkblatt Betontechnik B9 1.2018 „Expositionsklassen für Betonbauteile im Geltungsbereich des EC22018“. Düsseldorf 2018