Rolf P. Gieler

Regelwerke in der Betoninstandsetzung und Denkmalpflege - ein Widerspruch?

Einleitung

Obwohl in den Anfängen des Stahlbetonbaus bereits beeindruckende Bauwerke entstanden, und mancher Architekt sich schon in den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts der neuen Bauweise verschrieb [1], erlebte der im Vergleich zu anderen Bauweisen noch junge und inzwischen seit mehr als 100 Jahren praktizierte Stahlbetonbau vor allem während der 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts insbesondere mit wissenschaftlichen und technischen Fortschritten im Bereich der Werkstoffe, der Bauverfahren sowie der Berechnungs- und Bemessungsmethoden der Tragwerke einhergehend eine rasante Entwicklung [2].

In letzter Zeit werden vermehrt Bauwerke aus Stahlbeton oder unter Verwendung von Stahlbetonbauteilen hergestellte Bauten aufgrund ihrer Besonderheiten, z. B. des Alters, der Ingenieurleistung, der (bau-)historischen Bedeutung oder einer Kombination dieser Merkmale, zum Denkmal erklärt [3], [4], [5], [6], [7], [27], [28]. Das Erhalten dieser denkmalgeschützten Bauwerke stellt sich meist als für alle Beteiligte anspruchsvolle Aufgabe dar, da grundsätzlich die geltenden Regelwerke anzuwenden sind, die entsprechenden ingenieurtechnischen Lösungen den denkmalpflegerischen Anforderungen jedoch oft nicht genügen [40]. Für unter Berücksichtigung denkmalpflegerischer Aspekte instand zu setzende Bauwerke sind die Maßnahmen zum Erhalten daher in der Regel individuell für das jeweilige Objekt zu erarbeiten.

Im Folgenden werden wesentliche Grundsätze bei der Betoninstandsetzung von Bauwerken nach den geltenden Regelwerken genannt und technische Möglichkeiten für Denkmäler dargestellt. Die dargestellten Beispiele können nicht ohne weitere Überlegungen auf jedes Bauwerk übertragen werden. Im Einzelfall jeweils zu berücksichtigende individuelle Randbedingungen erfordern entsprechend geplante an das Objekt angepasste Lösungen.

1 Regelwerke

Mit der Musterbauordnung (MBO) [19] fordert der Gesetzgeber, „dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden“, woraus die Pflicht des Eigentümers folgt, Bauwerke instand zu halten. Zu beachten sind die von der obersten Bauaufsichtsbehörde durch öffentliche Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln. Nachfolgend werden die wesentlichen Regelwerke kurz beschrieben. Grundsätzlich gelten die genannten Regelwerke auch für denkmalgeschützte Betonbauwerke.

1.1 Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb

Planung, Durchführung und Überwachung von Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen für Bauwerke und Bauteile aus Beton und Stahlbeton regelt die in allen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführte DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Instandsetzungsrichtlinie) [10], im Folgenden RL SIB genannt. Das Regelwerk definiert zudem Prüfverfahren für die Werkstoffe und Werkstoffsysteme im Rahmen der Grundprüfung.

Bauwerke und Bauteile aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton nach Normen DIN EN 1992-1-1 [32], DIN EN 206 [21], DIN EN 13670 [33] und der Normenreihe DIN 1045 [22.1, 22.2, 22.3] sowie deren Vorläufern hergestellt wurden, sind nach der RL SIB [10] instand zu setzen, „unabhängig davon, ob die Standsicherheit betroffen ist oder nicht“ [10.1]. Regeln für den Nachweis der Standsicherheit enthält die aktuelle Richtlinie nicht. Bauaufsichtlich ist jedoch ausschließlich gefordert, die RL SIB für Instandsetzungen von Betonbauteilen, bei denen die Standsicherheit gefährdet ist, anzuwenden. Der gemäß [10] definierte sachkundige Planer muss die Standsicherheit - gegebenenfalls unter Hinzuziehung weiterer Fachplaner - bewerten.

Die noch aktuelle RL SIB [10] gilt für folgende Schutz- und Instandsetzungsarbeiten:

a) Herstellen des dauerhaften Korrosionsschutzes der Bewehrung bei unzureichender Betondeckung,
b) Wiederherstellen des dauerhaften Korrosionsschutzes bereits korrodierter Bewehrung,
c) Erneuern des Betons im oberflächennahen Bereich (Randbereich), wenn der Beton durch äußere Einflüsse oder infolge Korrosion der Bewehrung geschädigt ist,
d) Füllen von Rissen,

e) Vorbeugendes zusätzliches Schützen der Bauteile gegen das Eindringen von beton- und stahlangreifenden Stoffen, z. B. gemäß DIN 4030-1 [31],

f) Erhöhen des Widerstands von Bauteiloberflächen gegen Abrieb und Verschleiß.

Das Regelwerk [10] lässt zu, dass, wenn einzelne Bauteile ersetzt oder verstärkt werden, Instandsetzungen an Betonbauwerken auch gemäß DIN EN 206-1 [21]/ DIN 1045-2 [22] (Stahlbeton) und DIN 18551 [23] (Spritzbeton) und DIN EN 14487-1 [35.1] durchgeführt werden können.

1.2 Zukünftige Instandhaltungs-Richtlinie des DAfStb

In den letzten Jahren wurde die Richtlinie des DAfStb [10] durch mehrere themenbezogene Arbeitskreise überarbeitet und mit weiteren nationalen und europäischen Regelwerken harmonisiert. Im Juni 2016 wurde der Entwurf als sogenannter Gelbdruck unter dem Titel „Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie“, kurz IH RL) [34], als Gelbdruck[1] einer begrenzten Fachöffentlichkeit durch den DAfStb zur Bewertung vorgestellt.

Die Frist für Einsprüche lief Mitte September 2016 ab. Nach erfolgreicher Notifizierung in Brüssel soll der Weißdruck der neuen Instandhaltungs-Richtlinie erscheinen und danach in die Verwaltungsvorschrift "Technische Baubestimmungen" (VVTB) gemäß neuer Musterbauordnung, § 85, aufgenommen werden. Die neue Richtlinie wird gegenüber der Fassung aus dem Jahr 2001 zahlreiche Änderungen enthalten.

Die Richtlinie gilt für Instandhaltungsmaßnahmen für Bauwerke und Bauteile, die aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton nach Normen DIN EN 1992-1-1 [32], DIN EN 206 [21], DIN EN 13670 [33] und der Normenreihe DIN 1045 [22.1, 22.2, 22.3] sowie deren Vorläufern hergestellt wurden.

Gegenüber der Instandsetzungs-Richtlinie, Ausgabe 2001, wurden im Gelbdruckentwurf der Instandhaltungs-Richtlinie im Einzelnen folgende wesentliche Änderungen vorgenommen:

- Der Titel wurde umbenannt von Instandsetzungs- auf Instandhaltungsrichtlinie,
- der Inhalt entsprechend um die erweitert, denn
- in Anlehnung an DIN 31051 [37] wurden die Grundmaßnahmen der Instandhaltung (Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung, vgl. Bild 1) eingeführt.
- Der bisher verwendete Begriff „Schutzmaßnahmen“ wird den Grundmaßnahmen Instandsetzung und Verbesserung zugeordnet.

[1] Änderungen einer zukünftigen Endfassung gegenüber dem Gelbdruck sind nicht auszuschließen.

- Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Instandhaltung wird festgelegt.
- Die Aufgaben und die erforderliche Qualifikationen des Sachkundigen Planers werden definiert.
- Die Planungsgrundlagen werden konkretisiert:
- Die Restnutzungsdauer wird im Instandhaltungsplan festgelegt und
- die Instandsetzungssysteme an die Restnutzungsdauer angepasst.
- Maßnahmen werden als relevant für die Standsicherheit angenommen, wenn der Planer diese nicht ausdrücklich ausschließt.
- Einwirkungen aus Umgebung und Betonuntergrund werden über Klassen systematisch berücksichtigt, durch entsprechende Expositionsklassen.
- Altbetonklassen werden nach ZTV-W [29] definiert.
- Instandsetzungsprinzipien und Verfahren werden umfassend auf Basis der DIN EN 1504-9 [16.9] dargestellt.
- Neue Prinzipien und Verfahren für die Instandsetzung von Schäden durch Betonkorrosion werden aufgenommen.
- Das Prinzip C für Bewehrungskorrosion wird nicht mehr berücksichtigt.

Bild 1: Grundmaßnahmen der Instandhaltung nach DIN 31051 [37] zugehörige Maßnahmen, Durchführende, Frequenz und Grund für die Maßnahmen.

Die Richtlinie setzt voraus, dass jede Instandhaltung standsicherheitsrelevant ist, wenn der Planer dieses nicht ausdrücklich ausschließt, enthält aber keine Regeln für die Nachweise der Standsicherheit. Hinweise, welche technischen Regeln für die Nachweise der Standsicherheit relevant sein können, gibt das DBV-Merkblatt Bauen im Bestand – Leitfaden [36].

Die zukünftige Instandhaltungs-Richtlinie definierten Instandsetzungsprinzipien und Verfahren auf Basis von DIN EN 1504-9 [16.9].

1.3 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING)

Für Bauwerke im Bereich des Bundesministeriums für Verkehr (BMV) gelten die in den Zusätzlichen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) [20] Teil 3 „Massivbau“ enthaltenen Regeln des Abschnitt 4 „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ und Abschnitt 5 „Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen“. Für Wasserbauten gelten weitere Regelwerke [29].

1.4 DIN EN 1504

Die internationale 10-teilige Normenreihe DIN EN 1504 [16] regelt Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken. Zu dieser Normenreihe gehörigen zahlreiche weitere Prüfnormen.

Die auf europäischer Ebene harmonisierten Normenteile 2 bis 7 sind national unverändert umzusetzende Produktnormen. Die genannten Teile 2 bis 7 wurden als DIN EN in die Bauregelliste B Teil 1 aufgenommen. Teil 9 der DIN EN 1504 nennt Allgemeine Planungsgrundsätze, Teil 10 regelt die Anwendung von Produkten und Systemen auf der Baustelle im Sinne einer Ausführungsregelung. Die Teile 9 und 10 wurden nicht harmonisiert. Daher bleibt in Deutschland für Planung und Ausführung weiterhin die Instandsetzungsrichtlinie des DAfStb als Technische Baubestimmung bauaufsichtlich eingeführt und ist entsprechend anzuwenden.

Im Rahmen der Einführung der europäischen Produktnormen der Normenreihe DIN EN 1504 werden Produkte, die nach diesen Normen produziert und deren Konformität nachgewiesen wird mit einem CE-Zeichen versehen. Diese können im bauaufsichtlichen Bereich nach der Instandsetzungs-Richtlinie angewendet werden.

1.5 Regelwerke verschiedener Institutionen

Neben den genannten existieren weitere deutsche Regelwerke verschiedener Institutionen, z.B. der WTA, die so genannte Merkblätter herausgibt, z. B. [9], [24], [25]. Diese sind zwar nicht bauaufsichtlich eingeführt, ergänzen die zuvor genannten Regelwerke jedoch oft in bestimmten Details der einzelnen Phasen des Planungs- und Ausführungsablaufs und zählen oft zu den anerkannten Regeln der Technik.

2 Typische Schäden

Untersuchungen an zahlreichen Bauwerken aus Stahlbeton zeigen, dass trotz individueller Gegebenheiten oft typische Schäden [8] vorliegen, z. B.:

- Korrosion der Bewehrung als Folge des Karbonatisierens des Zementsteins oder infolge des Einwirkens von Chloriden,
- Abplatzen der Betondeckung über korrodierenden Bewehrungsstählen (vgl. Bild 2),
- Risse aus unterschiedlichen Gründen (vgl. Bild 3),
- Gefügestörungen, z.B. durch unzureichendes Verdichten: Hohlstellen, Kiesnester,
- Erodieren des Zementsteines an der Oberfläche der Bauteile durch sauren Regen (vgl. Bild 3),
- Bewuchs durch Algen, Flechten und Moose (vgl. Bild 4).

Bild 2: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstählen (Pilgerhäuser vor dem Wallfahrtsdom in Neviges).

Bild 3: Risse im Glockenturm einer Kirche und Erosion des Zementsteines durch sauren Regen an den Betonoberflächen.

Aufgrund der eventuell langzeitigen Bewitterung der Bauteile können die aufgeführten Schäden weit fortgeschritten sein oder zu erheblichen Folgeschäden geführt haben. Diese sind im Rahmen einer gründlichen und systematischen Objektuntersuchung (Bauzustandsanalyse) zu erfassen.

Die Ursachen für die genannten Schäden, auch deren Vermeidung sowie deren Instandsetzung, wurden in den letzten Jahrzehnten intensiv erforscht. Die Erkenntnisse sind in der Fachliteratur, z. B. [12], [13], [15], [8], ausführlich beschrieben.

Daher wird an dieser Stelle auf eine vertiefende Darstellung verzichtet. Nachfolgend werden jedoch besonders häufig vorkommende und für alte Bauwerke typische Schadensarten und Merkmale erwähnt.

An alten Bauwerken sind zwischenzeitlich vorgenommene Reparaturmaßnahmen nicht ungewöhnlich. Da zur Zeit der vor 1970 vorgenommenen Maßnahmen Instandsetzungssysteme im Sinne von [10], [16] nicht bekannt waren, wurden z.B. Vorsatzschalen im Verbund zum vorhandenen Beton aus Ortbeton [6], in Spritzbetontechnik [4], [5], [17] oder auch vorgehängte, hinterlüftete Waschbetonplatten [6] als Schutz der geschädigten Bauteile eingesetzt. An diesen Reparaturstellen können sich im Laufe der Zeit ebenfalls unterschiedlich stark ausgeprägte Schäden (s. o.) eingestellt haben [4], [5], [6], [17], [18]. Im Sinne der unter Abschnitt 1 genannten Regelwerke instand gesetzte Bauwerke weisen 20 bis 30 Jahre nach der Instandsetzung in vielen Fällen eine vergleichsweise lange Dauerhaftigkeit der durchgeführten Maßnahmen auf.

Bild 4: Bewuchs (Moose) an einer häufig befeuchten Bauteiloberfläche an der Wallfahrtskirche Maria, Königin des Friedens in Neviges (erbaut in den Jahren 1963 bis 1968 von G. Böhm).

Bild 5: Schäden an Ausbesserungsstellen eines Anfang der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts instand gesetzten und inzwischen unter Denkmalschutz stehenden Glockenturmes in Hanau.

3 Planung und Ausschreibung

Gemäß [10] ist zwingend vorgeschrieben, Instandsetzungsmaßnahmen vor Beginn der Ausführung zu planen. Schäden und deren Ursachen sind vom sachkundigen Planer zu ermitteln und schriftlich anzugeben. Stahlbeton-Bauwerke instand zu setzen, ist bei Maßnahmen zum Erhalten der Gebrauchsfähigkeit und Sicherheit eine Ingenieuraufgabe. Dabei ist so zu planen und auszuführen, dass die verlangten Gebrauchseigenschaften dauerhaft erreicht werden.

RL SIB [10] fordert nach folgendem Schema vorzugehen:

- Beurteilung und Planung durch einen sachkundigen Planer,
- Ermitteln von Ist- und Sollzustand,
- Beurteilen der Standsicherheit,
- Angeben der Ursachen von Mängeln und Schäden,
- Erstellen eines Instandsetzungskonzepts und eines Instandsetzungsplans,
- Aufstellen eines Instandhaltungsplans mit Angaben zu Inspektion und Wartung,
- Verwenden von Stoffen entsprechend der Richtlinie, für die die grundsätzliche Eignung in einer Grundprüfung nachgewiesen wurde und deren Herstellung überwacht wird,
- Ausführen durch Fachpersonal und Überwachen der Ausführung.

Zudem ist durch den Sachkundigen Planer ein Instandhaltungsplan für Maßnahmen zur Inspektion und zur Wartung nach der Instandsetzung zu erstellen. Gegenüber der aktuellen Richtlinie präzisiert die zukünftige Richtlinie die Angaben zur erforderlichen Planung.

Das prinzipielle Vorgehen in der Planungsphase wird nachfolgend näher erläutert.

3.1 Objektuntersuchung

Voraussetzung zum Planen nachhaltiger Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen sind die möglichst umfassende Kenntnis des Zustands eines Objektes und der Ursachen für Schäden. Daher müssen in jedem Fall gründliche Untersuchungen am Objekt erfolgen. Beispiele für Untersuchungsmethoden sind in RL SIB, Teil 2, Tabelle 2.1 [10.2] aufgeführt. Ausführliche Hinweise zur Diagnose gibt WTA-Merkblatt [9]. Untersuchungen sind üblicherweise in visuelle und technologische Prüfungen zu unterteilen. Ziel der Untersuchungen ist, die Schäden zu erfassen und aus der Analyse der gewonnenen Daten die Ursachen dafür zu erkennen.

In zahlreichen Fällen fehlen Unterlagen zum Bauwerk, die Aufschluss über die Art der Werkstoffe und deren Verarbeitung ermöglichen. Daher besitzen diesbezügliche Untersuchungen neben der Analyse des Zustands besondere Bedeutung. Außer Erhebungen zur Tiefe der Karbonatisierung, zur Betondeckung der Bewehrung und zur Festigkeit der oberflächennahen Betonzone ist z. B. auch die Art des verwendeten Zementes festzustellen. Die heute eingesetzten mineralischen Betoninstandsetzungswerkstoffe werden überwiegend mit Portlandzementen hergestellt. In Einzelfällen können diese mit den am Objekt verwendeten Zementen (z. B. Sulfathüttenzementen [14]) nicht verträglich sein, so dass ungewünschte Reaktionen, wie Salzkristallisation durch Ettringit, eintreten können. In solchen Fällen sind Mörtel mit sulfatbeständigen Bindemitteln einzusetzen [15].

Bei früheren Maßnahmen durch Vorsatzschalen, mit Spritzbetonschichten oder vorgehängten, hinterlüfteten Waschbetonplatten (vgl. Ziffer 2) ist zu prüfen, ob der Verbund oder die Befestigung der Vorsatzschalen zum bzw. am Untergrund gegeben ist und ob diese Schalen erhalten werden können. Die Objektuntersuchung sollte auch die bauphysikalischen Gegebenheiten, wie u. a. Wärmedämmung, Wasserbeaufschlagung der Bauteiloberflächen (Beanspruchung durch Schlagregen), fehlende Abdichtungen, umfassen. Zu empfehlen ist, die Befunde – wie bei anderen denkmalgeschützten Objekten auch – zu kartieren [11] und somit möglichst detailliert zu dokumentieren.

Bei erheblichen Schäden oder bei geänderter Nutzung kann es notwendig sein, die Standsicherheit der tragenden Konstruktion oder einzelner Bauteile zu überprüfen, vgl. RL SIB [10], Teil 1, Abschnitt 3.2. Eine Gefährdung der Standsicherheit liegt demnach nicht nur bei einem entsprechenden Schaden vor, sondern auch dann, wenn ein Schaden mit großer Wahrscheinlichkeit künftig zu erwarten ist. Die Beurteilung muss durch den sachkundigen Planer erfolgen. Dieses ist entscheidend für die Konzeptionierung und Umsetzung der Maßnahmen. Wenn die Maßnahmen nicht zum Erhalten oder zum Wiederherstellen der Standsicherheit erforderlich sind, muss die bauaufsichtlich eingeführte Richtlinie des DAfStb [10] bzw. zukünftig [34] nicht zwingend angewendet werden. Da die Richtlinie den Stand der Technik [34] widerspiegelt, sollte sie allerdings in jedem Fall beachtet werden.

3.2 Instandsetzungskonzept

Das Instandsetzungskonzept ist aus der Ermittlung des IST- als Ergebnis der Objektuntersuchung und der Festlegung des SOLL-Zustandes zu entwickeln. Leistungen, die im Zusammenhang mit der Betoninstandsetzung stehen und die Dauerhaftigkeit einer Betoninstandsetzung wesentlich beeinflussen, z. B. Abdichtungen, sind

im Instandsetzungskonzept zu berücksichtigen. Ebenso sind besondere Belastungen (chemisch und/oder mechanisch) zu beschreiben. Mit dem Konzept legt der sachkundige Planer fest, ob und ggf. welche Maßnahmen erforderlich sind. Hierbei sind die Grundsätze für

- den Schutz und die Instandsetzung des Betons (Teil 1, Ziffer 5 in [10]) und
- den Korrosionsschutz der Bewehrung (Teil 1, Ziffer 6 in [10])

zu beachten.

Zu den Maßnahmen zum Schützen des Betons zählen gemäß [10]:

- Füllen von Rissen und Hohlräumen mit Reaktionsharz, Zementleim (ZL) oder Zementsuspension (ZS)
- Ausfüllen örtlich begrenzter Fehlstellen mit Mörtel oder Beton,
- Großflächiges Auftragen von Mörtel oder Beton,
- Auftragen von Hydrophobierungen,
- Auftragen von Imprägnierungen (Versiegelungen),
- Auftragen von Beschichtungen.

Der im noch aktuellen Regelwerk [10] verwendete Begriff „Schutzmaßnahmen“ wird gemäß Gelbdruck der IH RL [34] zukünftig den Aspekten Instandsetzung und Verbesserung zugeordnet.

Um die Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung planen zu können, sind Kenntnisse über die elektrochemischen Korrosionsvorgänge an der Oberfläche der Bewehrung und die chemischen und physikalischen Zustände bzw. Vorgänge im umgebenden Beton erforderlich.

Die Restnutzungsdauer für die Fälle Korrosion der Bewehrung durch Karbonatisation des Betons und für chloridinduzierte Korrosion der Bewehrung kann nach in [38] und [39] veröffentlichten Verfahren prognostiziert werden. Ein Beispiel für einen Glockenturm zeigt Bild 6.

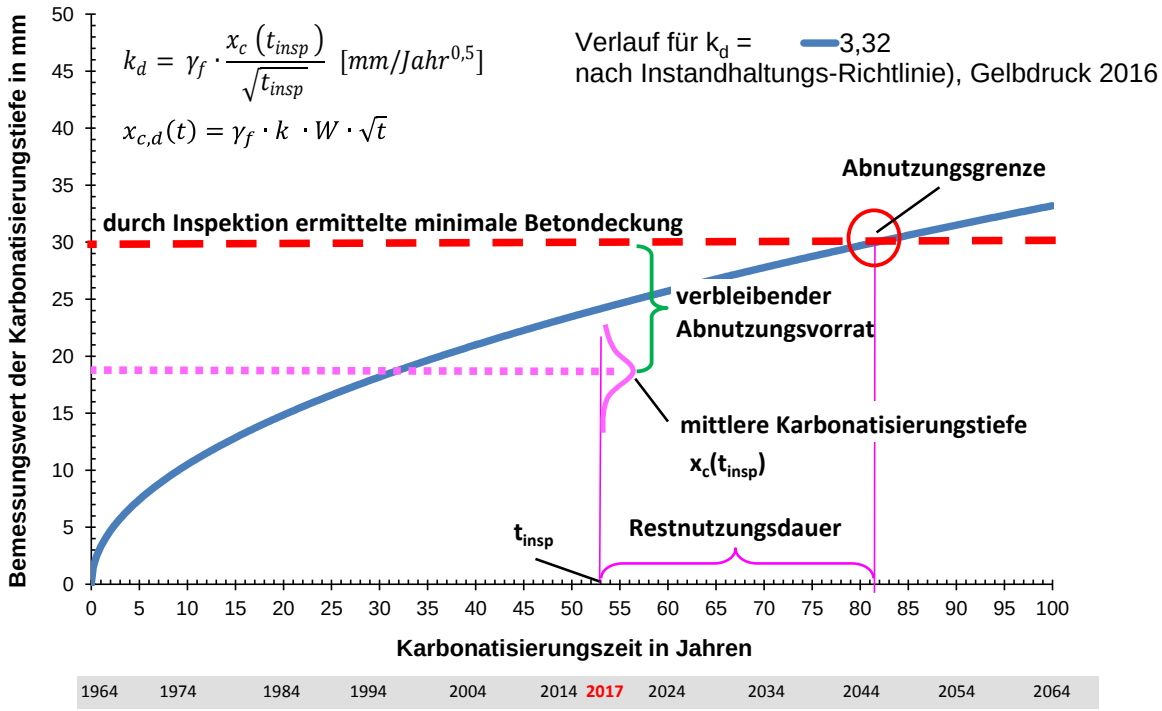

Bild 6: Prognose der Karbonatisierung und Abschätzung der Restnutzungsdauer am Beispiel eines Glockenturms nach [38] bzw. [34.5] durch Ermitteln der Abnutzungsgrenze.

RL SIB [10] nennt die folgenden Korrosionsschutzprinzipien, um einen dauerhaften Korrosionsschutz für die Bewehrung wiederherzustellen (Bild 7):

- Unterbinden des anodischen Teilprozesses:
  - R Repassivierung,
  - C Beschichtung der Stahloberflächen in kritischen Bereichen,
  - K Kathodischer Korrosionsschutz der Bewehrung,
- Unterbinden des elektrolytischen Prozess:
  - W Absenken des Wassergehaltes.

Die Prinzipien R, C und K sollen den anodischen Teilprozess des einer elektrischen Batterie vergleichbaren elektrochemischen Vorgangs unterbinden, um die Korrosion der Bewehrung zu stoppen, mit dem Prinzip W wird der elektrolytischen Prozess unterbunden. Dieses erfolgt in der Praxis mit sogenannten Grundsatzlösungen, die den Prinzipien zugeordnet werden, siehe Bild 7.

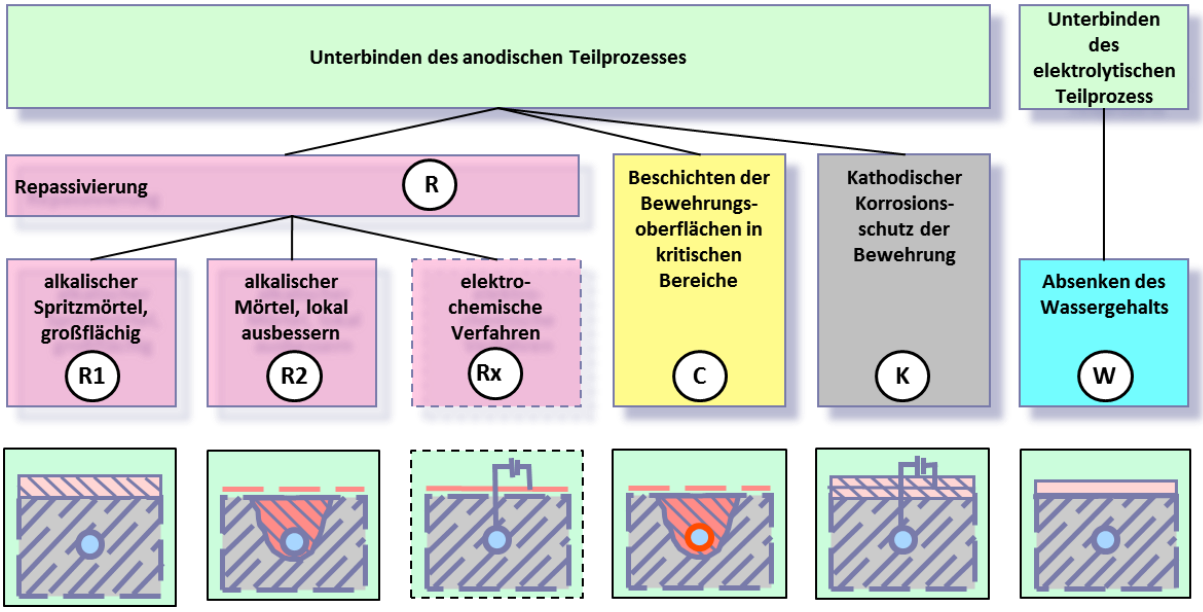

Bild 7: Den Instandsetzungsprinzipien (für Stahl) R, C, K und W zugeordnete Grundsatzlösungen R1, R2, C und W nach [10]. Rx ist nicht geregelt.

Die Prinzipien finden sich in der zukünftigen Instandhaltungsrichtlinie wieder, siehe Tab. 1, denn die zukünftige Instandhaltungs-Richtlinie [34] wird in Anlehnung an die Produktnorm DIN EN 1504-9 [16.9] die auf Tab. 1 aufgeführten Korrosionsschutz-prinzipien für Stahl und Beton vorsehen.

Prinzipien bei Schäden im Beton und zum Schutz oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion nach dem Gelbdruck der IH RL [34] sind angelehnt an [16.9] auf Tab. 1 aufgeführt. Den Prinzipien werden im Regelwerk näher beschriebene Verfahren, mit denen diese umgesetzt werden, zugeordnet. Dabei wurden Verfahren gegenüber DIN EN 1504-9 neu eingeführt bzw. andere in [16.9] definierte Verfahren nicht übernommen. Außer der Grundsatzlösung C (Beschichten der Bewehrung) nach dem Korrosionsschutzprinzip C wurden die bisherigen Instandsetzungsmethoden im Wesentlichen im Gelbdruck wieder aufgenommen, siehe auch Bild 8 für den Korrosionsschutz der Bewehrung.

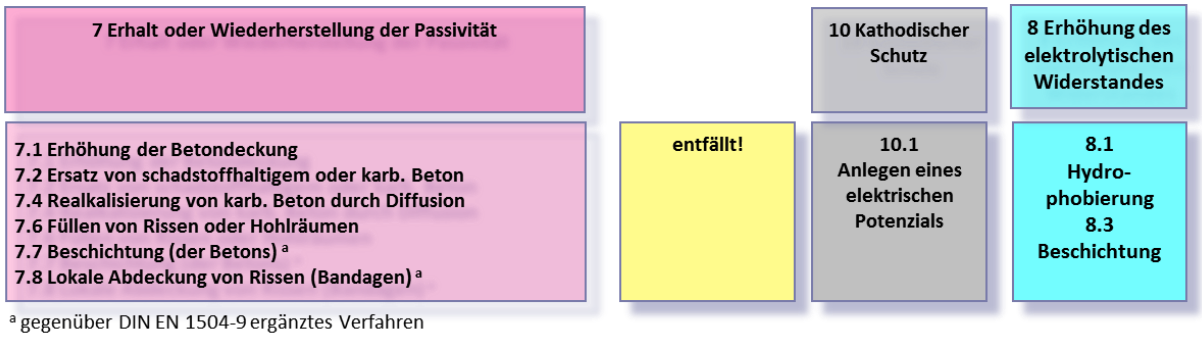

Bild 8: Den Prinzipien (für den Korrosionsschutz des Bewehrung) zugeordnete Verfahren nach [34].

Tab. 1: Prinzipien und Verfahren bei Schäden im Beton und zum Schutz oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion nach dem Gelbdruck der IH RL [34].

	Prinzip		**Verfahren**
	Schäden im Beton		
1	Schutz gegen das Eindringen von Stoffen	1.1	Hydrophobierung
		1.3	Beschichtung
		1.4	Örtliche Abdeckung von Rissen (Bandagen)
		1.5	Füllen von Rissen oder Hohlräumen
2	Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons	2.1	Hydrophobierung
		2.3	Beschichtung
		2.6	Füllen von Rissen oder Hohlräumen
3	Reprofilierung oder Querschnittsergänzung	3.1	Kleinflächiger Handauftrag
		3.2	Betonieren oder Vergießen
		3.3	Spritzauftrag
		3.4	Auswechseln von Bauteilen
4	Verstärkung des Betontragwerks	4.3	Verstärkung durch geklebte Bewehrung
		4.4	Querschnittsergänzung durch Mörtel oder Beton
		4.5	Füllen von Rissen oder Hohlräumen
5	Erhöhung des physikalischen Widerstandes	5.1	Beschichtung
		5.3	Mörtel- oder Betonauftrag
6	Erhöhung des Chemikalienwiderstandes	6.1	Beschichtung
		6.3	Mörtel- oder Betonauftrag.
	Korrosion der Bewehrung		
7	Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	7.1	Erhöhung der Betondeckung mit zusätzlichem Mörtel oder Beton
		7.2	Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton
		7.4	Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion
		7.6	Füllen von Rissen oder Hohlräumen
		7.7	Beschichtung
		7.8	Lokale Abdeckung von Rissen (Bandagen)
8	Erhöhung des elektrischen Widerstandes	8.1	Hydrophobierung
		8.3	Beschichtung
10	Kathodischer Schutz	10.1	Anlegen eines elektrischen Potenzials

Falls erhöhte Chloridgehalte (Cl) im Beton vorliegen oder erhöhte Chloridbelastungen zu erwarten sind, werden zusätzliche Anforderungen im Rahmen der Instandsetzungsprinzipien gestellt und spezielle Verfahren vorgegeben.

3.3 Instandsetzungsplan

Auf Basis des Instandsetzungskonzeptes ist ein Instandsetzungsplan aufzustellen. Dieser muss die Grundsätze der Instandsetzung des Betons und der Bewehrung, die Anforderungen an die Ausführung und ggf. Aspekte des Brandschutzes berücksichtigen.

Ausschließlich der sachkundige Planer legt fest, ob die geplante Maßnahme erforderlich ist, um die Standsicherheit zu erhalten, und welche Maßnahmen zu treffen sind, um die Ausführung zu überwachen. Dieses ist zwingend in die Ausschreibungsunterlagen aufzunehmen.

In jeder Phase, auch während der Ausführung der Betoninstandsetzungsarbeiten, muss festgelegt sein, wer die Fragen der Standsicherheit verantwortlich beurteilt und wer die dazu erforderlichen Maßnahmen plant und ausführt. Nur in Verbindung mit dieser Festlegung dürfen die im Anwendungsbereich der Richtlinie [10] angeführten Arbeiten, auch wenn sie die Standsicherheit nicht direkt betreffen, ausgeführt werden.

Denkmalpflegerische Anforderungen sind in Zusammenarbeit mit der zuständigen Behörde zu berücksichtigen, wobei u. a. folgende Einzelheiten vorab zu klären sind:

- Muss das visuelle Erscheinungsbild der Sichtbetonbauteile (Farbe, Relief, Struktur der Oberfläche) erhalten bleiben?
- Dürfen ausgebesserte Schadstellen erkennbar sein?
- Sind zwischenzeitlich aufgebrachte Schichten (vgl. Bild 5)/ Vorsatzschalen aus früheren Reparaturen zu erhalten oder zu entfernen?
- Wie ist der notwendige Ersatz von Bauteilen vorzunehmen (Fertigteil, Ortbeton)?

Bild 9: Beschichtete Flächen der Faltwerkkonstruktion des Daches an den Pilgerhäusern vor der Wallfahrtskirche Maria, Königin des Friedens in Neviges.

Zu prüfen ist im Rahmen der Planung, ob eventuell Modifikationen von eingeführten Instandsetzungssystemen technisch möglich bzw. denkmalpflegerisch sinnvoll sind, um den genannten Anforderungen gerecht zu werden. Insbesondere sind die denkmalpflegerischen Grundsätze des Substanzerhalts und der Reversibilität der Maßnahme zu beachten. Hier sei als Beispiel der Einsatz einer lasierenden Deckbeschichtung [6] genannt, die üblicherweise nicht zum Spektrum der marktüblichen Betoninstandsetzungssysteme zählt und für die daher eventuell keine Eignungsnachweise im Sinne von [10] und [16] existieren. Daher sind bei Sonderanfertigung vom Hersteller die wesentlichen Eigenschaften nachzuweisen.

Flankierende Maßnahmen, wie Einbringen von Fugen, Wärmedämmung, abdichtende Maßnahmen, verbesserte Wasserführung, müssen, falls erforderlich, ebenfalls planerisch berücksichtigt werden.

Der Instandsetzungsplan dient als Grundlage für das Leistungsverzeichnis. Die Ausschreibung sollte deutlich auf die vorliegenden Baustoffe und vorhandenen Schäden eingehen sowie auf die Besonderheiten bei der Instandsetzung eines Denkmals hinweisen. Wichtige Hinweise zur Ausschreibung der Arbeiten und zum Leistungsverzeichnis geben das WTA-Merkblatt [24] und DIN 18349 [30].

3.4 Instandhaltungskonzept und Instandhaltungsplan

Der sachkundige Planer muss für die gewählte Ausführung einen Instandhaltungsplan erstellen, der planmäßige Inspektionen und Angaben zur Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen enthält. Da hierzu in [10] keine weiteren Einzelheiten aufgeführt werden, sind wertvolle Hinweise [25] zu entnehmen.

Gemäß Gelbdruck ist Aufgabe des sachkundigen Planers, ein Instandhaltungskonzept mit gegebenenfalls mehreren Varianten unter Berücksichtigung der Aspekte Wartung/Inspektion und Instandsetzung (inklusive Verbesserung) zu erstellen. Ziel ist dabei, eine für das jeweilige Objekt technisch und wirtschaftlich begründete Lösung zu finden. Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten sind gegenüber zu stellen und dem Auftraggeber (Bauherr/Eigentümer/Betreiber) zu erläutern. Dieses ist bei denkmalgeschützten Bauwerken von besonderer Bedeutung, wenn ggf. nicht geregelte Verfahren und Sonderlösungen für die Instandsetzung gefunden werden.

Basierend auf der vom Auftraggeber gewählten Variante des Instandhaltungskonzeptes ist ebenfalls durch den sachkundigen Planer ein Instandhaltungsplan zu erstellen, der die Komponenten Wartung, Inspektion und Instandsetzung umfasst (vgl. Bild 10). Umfang und Häufigkeit von Inspektionen und Wartungsmaßnahmen sowie Verfahrensweisen und Verantwortlichkeiten sind darin festzulegen. Insbesondere bei denkmalgeschützten Stahlbetonbauteilen können moderne Methoden des Monito-

rings [41] sinnvoll sein. Ggf. sind auch zukünftige Instandsetzungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Die Details des Instandhaltungsplans sollten in einem Bauwerksbuch dokumentiert werden.

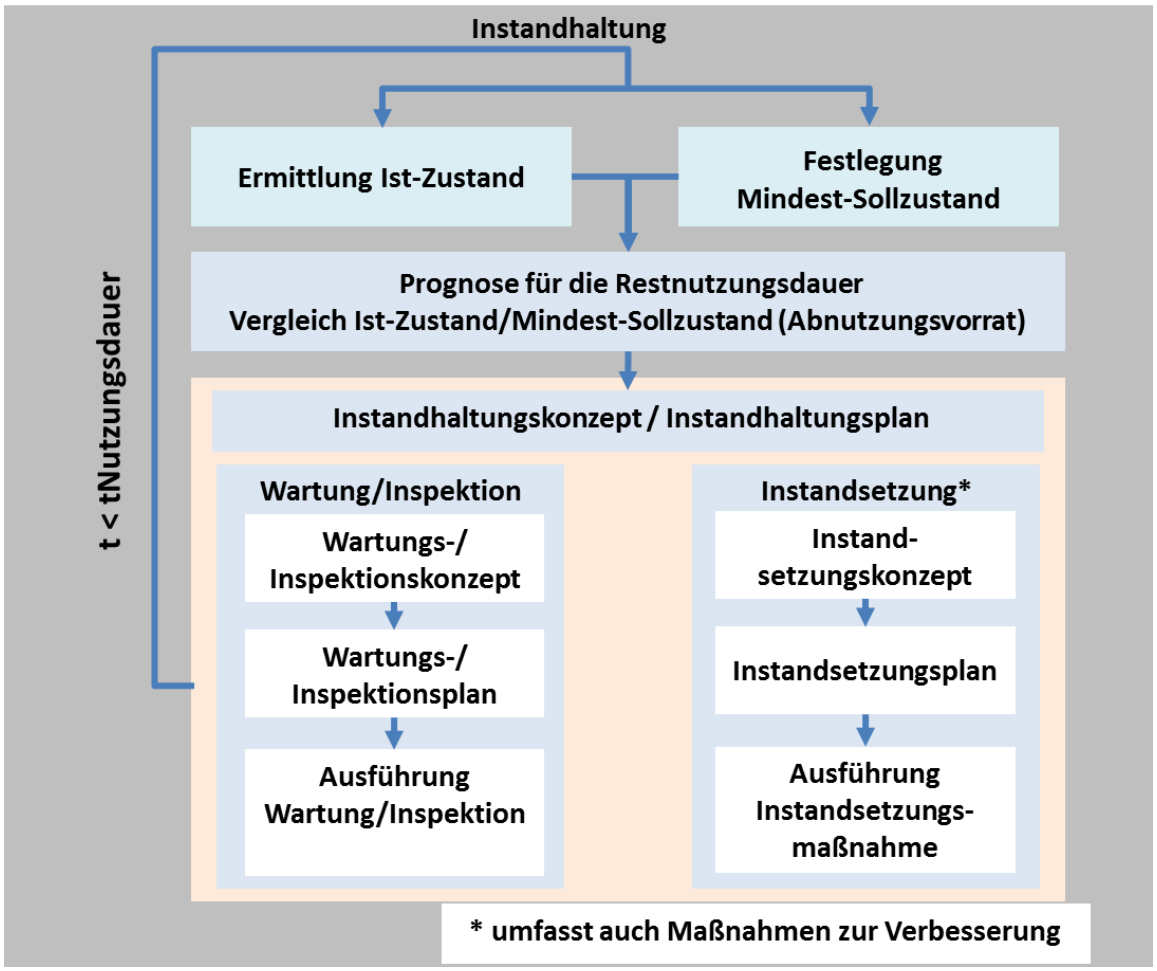

Bild 10: Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Planung und Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen nach [34].

4 Werkstoffe und Verfahren

Heute steht eine breite Palette von geprüften Betoninstandsetzungssystemen mit aufeinander abgestimmten Einzelkomponenten zur Verfügung, die bei ordnungsgemäßer Verwendung einen langjährigen Schutz vor weiteren Schäden bieten. Wie bei anderen Stahlbeton-Bauwerken auch, sollten die eingesetzten Werkstoffe aus einem für den Einsatzzweck geprüften System eines Herstellers bestehen. Bei denkmalgeschützten Bauwerken sind modifizierte Aufbauten jedoch denkbar und bereits mit Erfolg praktiziert worden [6], [18]. Wesentlich ist, dass durch das Zusammenwirken

der einzelnen Komponenten der Korrosionsschutz der Bewehrung erzielt und fortschreitendes Karbonatisieren des Betons verhindert wird.

Auf neue Regelungen für die einzusetzenden Werkstoffe, wie z. B. Kennzeichnung mit dem CE-Zeichen, wird an dieser Stelle lediglich verwiesen.

Schutz und Instandsetzung von Betonbauteile erfolgt heutige meist gemäß den nachfolgend genannten Arbeitsschritten, die die Regelungen der RL SIB [10] bzw. [34] berücksichtigen.

Oftmals sind flankierende Maßnahmen erforderlich, wie zum Beispiel:

- Eventuell auftretende Risse mit einer Rissbreite über 200 µm mit einem geeigneten Füllstoff zu verfüllen,
- Dachabdichtungen zu ergänzen,
- Wasserführungen (Dachrinnen, Fallrohre) einzubauen,
- Handläufen, Befestigungskonstruktionen vor Korrosion zu schützen.

Bezüglich des visuellen Erscheinens der instand gesetzten Betonoberfläche sind unterschiedliche Varianten denkbar und bereits ausgeführt worden. In jedem Fall müssen alle Maßnahmen, die das spätere Erscheinungsbild der Oberfläche beeinflussen, vorab mit der Denkmalpflege abgestimmt werden.

Wenn die Sichtbetonstruktur und auch die Spuren langjähriger Bewitterung sichtbar erhalten bleiben sollen, können Mörtel nicht großflächig aufgebracht und keine deckenden Beschichtungen appliziert werden. In einem solchen Fall kann folgender Aufbau die notwendige Schutzwirkung erreichen [6]:

- Mörtel für Ausbruchstellen werden in Größtkorn und Farbe dem umgebenden Beton angepasst [6], [18] und ggf. nach dem Einbringen in die Ausbruchstelle durch behutsames Strahlen mit Strahlmittel angeraut, um die Oberfläche dem bewitterten angrenzenden Beton anzupassen.
- Als Karbonatisierungsbremse wirkt eine in mehreren Arbeitsgängen aufgebrachte lasierende, der Farbe des Betons angeglichene Deckbeschichtung mit eventuell rissüberbrückenden Eigenschaften.

Egalisieren der Oberflächen mit Feinmörteln entfällt hierbei. Diese Variante stellt hohe Ansprüche an den Verarbeiter. Der Aufwand des gezielt dem Untergrund angepassten Applizierens der Lasurbeschichtung erfordert über das Übliche hinausgehendes handwerkliches Können.

Ist an Reparaturstellen das zerstörte Schalbrettrelief wiederherzustellen (Bild 11), kann ein Relief mit strukturierten Kunststoffbrettern in den frischen Mörtel eingedrückt werden. Falls eine vollflächige Spachtelung notwendig ist, die die ehemalige Brettschalungsstruktur egalisiert, so kann das frühere Aussehen der Bauteile durch

Einbringen von Rillen oder durch Eindrücken von Schablonen in den frischen Mörtel angedeutet werden. Auch dieser Arbeitsschritt erfordert hohes handwerkliches Geschick des ausführenden Personals.

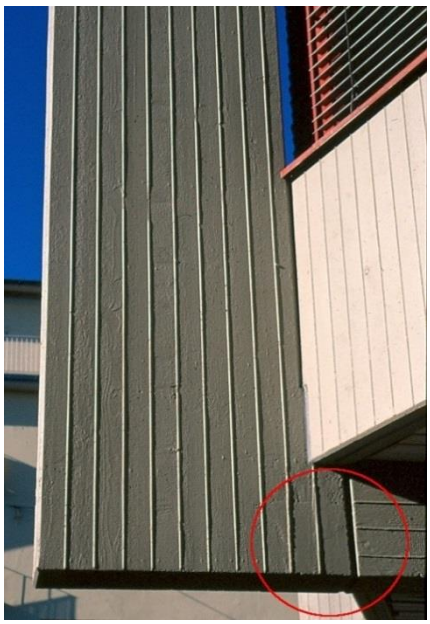

Bild 11: An reprofilierten Ausbruchstellen mit Mörtel wieder hergestellte Grate der Schalbrettstruktur an einem Wohn- und Geschäftshaus.

Vor Beginn der eigentlichen Maßnahme sollte anhand von Musterflächen die beabsichtigte Oberflächenwirkung überprüft und gegebenenfalls Werkstoffe und Verarbeitungstechniken zwischen Denkmalbehörde, sachkundigem Planer, ausführendem Unternehmen und Werkstoffhersteller abgestimmt werden.

5 Durchführung und Überwachung der Maßnahmen

Alle Bauwerke – auch unter Denkmalschutz stehende aus Stahlbeton - sind behutsam zu behandeln. Daher müssen die am Projekt Beteiligten Maßnahmen zur Qualitätssicherung organisatorisch und im Sinne der geltenden Regelwerke, z. B. [10], planen und umsetzen. Sinnvoll ist, einen entsprechenden Maßnahmenkatalog (Überwachungsplan) aufzustellen, der alle erforderlichen Festlegungen zur Durchführung und zu Prüfungen enthält. Häufig ist aufgrund der aus unterschiedlichen Ursachen resultierenden Schäden und der erforderlichen aufwendigen Vorgehensweise die Durchführung als besonders schwierig einzustufen. Daher sollten ausschließlich nachweislich erfahrene, fachlich qualifizierte Unternehmen mit der Instandsetzung eines Stahlbetondenkmals betraut werden. Oft gehören diese Arbeiten jedoch nicht

zum Leistungsumfang von im Bereich der Denkmalpflege tätigen Unternehmen. Ein hoher und über den durch [10] geforderten Umfang hinausgehender Dokumentationsaufwand ist bei denkmalgeschützten Objekten in der Regel erforderlich. Zu empfehlen ist zudem, dass die instand gesetzten Bauwerke regelmäßig inspiziert und gewartet werden [25].

Zusammenfassung

Wesentliche Regelwerke im Bereich der Betoninstandsetzung sowie die Maßnahmen bei regelwerkgerechter Vorgehensweise wurden vorgestellt. Auf die Besonderheit bei denkmalgeschützten Betonbauwerken wurde hingewiesen. Die Ausführungen zeigen, dass aufgrund von naturgegebenen Randbedingungen bestimmte physikalische und chemische Grundsätze bei der Instandsetzung von Betonbauwerken zu beachten sind. Bei der dargestellten Vorgehensweise einer möglichst frühzeitigen Abstimmung aller Beteiligten müssen die Forderungen der Regelwerke und die Belange der Denkmalpflege nicht zwingend im Widerspruch stehen.

Literaturverweise

[1] Roland Koetz.: Max Taut 1884 - 1967. Deutsches Architektenblatt 29 (1997), H. 6, S. 860-861.

[2] Justus Bonzel.: Hundert Jahre Bauen mit Beton. Zement-Kalk-Gips 30 (1977) H. 9, S. 439-450.

[3] Heinz Klopfer: Sichtbeton-Fassaden einer Kirche (Baujahr 1930). Sanierung der Sichtbetonflächen mit Absprengungen und Rissen nach denkmalpflegerischen Anforderungen. in: Bauschäden-Sammlung Bd. 6, Hrsg. G. Zimmermann, Stuttgart 1986.

[4] Helmut Weber: Aussichtsturm Ebersberg. Instandsetzung eines Stahlbeton-Denkmals. Sonderdruck aus Bausubstanz 9 (1993), H. 1 und H.3.

[5] n.n.: Betonsanierung am Kabelsteg in München. Bausubstanz 11 (1995), H. 11/12, S. 28-29.

[6] Annika Dellert: Verwaltungs- und Ausbildungszentrum der Deutschen Olivetti, Frankfurt am Main, 1967-1972, Egon Eiermann. http://www.archinoah.de/studienarbeiten-details-371.html.

[7] Sichau, P.: Die Weißfrauenkirche Frankfurt am Main. Denkmalgerechte Betonsanierung im historischen Kontext. in: Denk-mal an Beton! Berichte zu

Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland 16. hg. VDL Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, Petersberg 2008 (ISBN 978-3-86568-451-6), S. 171-177.

[8] Rolf P. Gieler und A. Dimmig-Osburg: Kunststoffe für den Bautenschutz und die Betoninstandsetzung. Der Baustoff als Werkstoff, Reihe: BauPraxis, XVI, 480 S., Basel, 2006, ISBN: 978-3-7643-6345-1.

[9] WTA-Merkblatt 5-6-99/D Diagnose an Betonbauwerken.

[10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hg.): DAfStb-Richtlinie - Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie); 2001-10.

[10.1] Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze.

[10.2] Teil 2: Bauprodukte und Anwendungen.

[10.3] Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung.

[10.4] Teil 4: Prüfverfahren.

[11] Schäfer, H.: Computergestützte Schadenskartierung bei Betonbauwerken. Vortrag, WTA-Mitgliederversammlung Referat Beton, 21.06.2007, Fulda.

[12] Klopfer, H.: Die Carbonatisation von Sichtbeton und ihre Bekämpfung. Bautenschutz und Bausanierung 1 (1978), H. 3, S. 86-97.

[13] Zimmermann, G. (Hg.) Schadenfreies Bauen, Band 3 Heinz Klopfer: Schäden an Sichtbetonflächen. Stuttgart 1993.

[14] Stark, J.: Sulfathüttenzement. Wiss. Zeitung d. HAB Weimar 41 (1995), H. 6/7, S. 7-15.

[15] Stark, J. und B. Wicht: Dauerhaftigkeit von Beton. Der Baustoff als Werkstoff, Reihe: BauPraxis, XI, 340 S. 221 Abb., Softcover, Birkhäuser Verlag AG, 2000 ISBN: 978-3-7643-6344-4.

[16] DIN EN 1504 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Güteüberwachung und Beurteilung der Konformität.

[16.01] Teil 1: 2005-10 Definitionen.

[16.02] Teil 2: 2005-01 Oberflächenschutzsysteme für Beton (neu: Entwurf 2015-03);

[16.03] Teil 3: 2006-03 Statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung (neu: Entwurf 2015-08 Instandsetzungsbeton und -mörtel)

[16.04] Teil 4: 2005-02 Kleber für Bauzwecke (neu: Entwurf 2016-05).

[16.05] Teil 5: 2013-06 Injektion von Betonbauteilen.

[16.06] Teil 6: 2006-11 Verankerung von Bewehrungsstäben.

[16.07] Teil 7: 2006-11 Korrosionsschutz der Bewehrung (neu: Entwurf 2015-09).

[16.08] Teil 8: 2016-08 Qualitätskontrolle und Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit (AVCP).

[16.09] Teil 9: 2008-11 Allgemeine Grundsätze für die Anwendung von Produkten und Systemen.

[16.10] Teil 10: 2004-05 Anwendung von Stoffen und Systemen auf der Baustelle, Qualitätsüberwachung der Ausführung (neu: Entwurf 2015-11).

[17] Thomas Mielke und K. Schütz: Instandsetzung des Wasserturms Großniedesheim. Bausubstanz 11 (1995), H. 11/12, S. 22-24.

[18] Jens Engel: Erweiterte Möglichkeiten bei der denkmalgerechten Betoninstandsetzung und Betonkonservierung. WTA-Journal, H. 1, 2007, ISBN 3-937066-00-4, S. 65-80.

[19] Musterbauordnung (MBO) Fassung 2002-11.

[20] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), 2014 (http://www.bast.de).

[21] DIN EN 206:2017-01 Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.

[22.1] DIN 1045-2:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.

[22.2] DIN 1045-3:2012-03 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung - Anwendungsregeln zu DIN EN 13670.

[22.3] DIN 1045-4:2012-02 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen.

[23] DIN 18551:2014-08 Spritzbeton - Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen.

[24] WTA Merkblatt 5-15-03/D Leistungsbeschreibung.

[25] WTA Merkblatt 5-7-99/D Prüfen und Warten von Betonbauwerken.

[26] WTA Merkblatt 5-8-93/D Schutz und Instandsetzung von Beton; Untergrund – Anforderungen, Vorbereitung und Prüfung.

[27] Müller, H. S. (Hg): Instandsetzung bedeutsamer Betonbauten der Moderne in Deutschland. Symposium; 1. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), 30. März 2004. Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe 2007, 2. unveränderte Aufl. ISBN 978-3-86644-098-2.

[28] Denk-mal an Beton! Berichte zu Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland 16. hg. VDL Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, Petersberg 2008 (ISBN 978-3-86568-451-6).

[29] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung: Eisenbahnen, Wasserstraßen (Hg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219) Ausgabe 2004, EU-Notifizierung Nr. 2005/25/D vom 27. Januar 2005 und Änderung 1 zu den ZTV-W Dezember 2008.

[30] DIN 18349: 2010-04, VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Betonerhaltungsarbeiten DIN 18349.

[31] DIN 4030-1:2008-06 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte.

[32] DIN EN 1992-1-1:2011-01 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

[33] DIN EN 13670:2011-03 Ausführung von Tragwerken aus Beton.

[34] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hg.): DAfStb-Richtlinie - Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie); Gelbdruck 2016-06

[34.1] Teil 1: Planung der Instandhaltung.

[34.2] Teil 2: Merkmale von Produkten oder Systemen für die Instandhaltung und Regelungen für deren Verwendung.

[34.3] Teil 3: Ausführung der Instandsetzung und Überwachung.

[34.4] Teil 4: Prüfverfahren.

[34.5] Teil 5: Nachweisverfahren zur Ermittlung der Restnutzungsdauer und der Bemessung von Schichtdicken für Betonersatz bei Karbonatisierung und Chlorideinwirkung (informativ).

[35.1] DIN EN 14487-1:2006-03 Spritzbeton - Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität.

[35.2] DIN EN 14487-2:2007-01 Spritzbeton - Teil 2: Ausführung.

[36] Deutscher Beton- und Bautechnikverein e.V. (DBV) (Herausgeber): DBV-Merkblatt Bauen im Bestand – Leitfaden. Fassung 2008-01.

[37] DIN 31051:2012:09 Grundlagen der Instandhaltung.

[38] Greve-Dierfeld S. von: Bemessungsregeln zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit XC-exponierter Stahlbetonbauteile. Heft 622 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin, 2015.

[39] Rahimi, A.: Semiprobabilistisches Nachweiskonzept zur Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauteilen unter Chlorideinwirkung. Heft 626 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin, 1. Auflage, 2017.

[40] Hamacher, E.: Was die Richtlinien anrichten: die Anwendung geltender Betoninstandsetzungsrichtlinien auf Denkmale. Bausubstanz 3 | 2015, Fraunhofer IRB Verlag.

[41] Hill, W.; Eger, R.: Monitoring von Betonbauwerken Die Verantwortung der Eigentümer und Verwalter für die Erhaltung und Instandsetzung ihrer Stahlbetonbauwerke. Bausubstanz 3 | 2017, Fraunhofer IRB Verlag.

Kontakt:

materials and technology consulting
Ingenieur- und Sachverständigenbüro
Prof. Dr.-Ing. Rolf P. Gieler WTA, VDI
Vogelsbergstraße 13, D-36041 Fulda
info@gieler.net www.gieler.net