

## Stoffliche Aspekte bei Schutz und Instandsetzung von kraftwerkstypischen Bauwerken aus Stahlbeton

### Eine Diskussion über Fehlerquellen und Interessenkonflikte

A. Kochan, MC-Bauchemie GmbH

#### Einleitung

Will man die Instandsetzung von Bauwerken aus Stahlbeton planen, so ist es unerlässlich, sowohl den geschädigten aktuellen Bauwerkszustand als auch das Instandsetzungsziel eindeutig als Grundlage für die Planung im Vorhinein zu beschreiben. In besonderem Maße gilt dies für Schalenbauwerke wie z. B. Kühltürme und Schornsteine. Dies setzt die Kenntnisse der Bauphysik und häufig auch der Betontechnologie voraus. Darüber hinaus können komplexe Instandsetzungsmaßnahmen häufig nur auf der Grundlage praktischer Erfahrungen durch den sachkundigen Planer zu einem optimierten Ergebnis geführt werden.

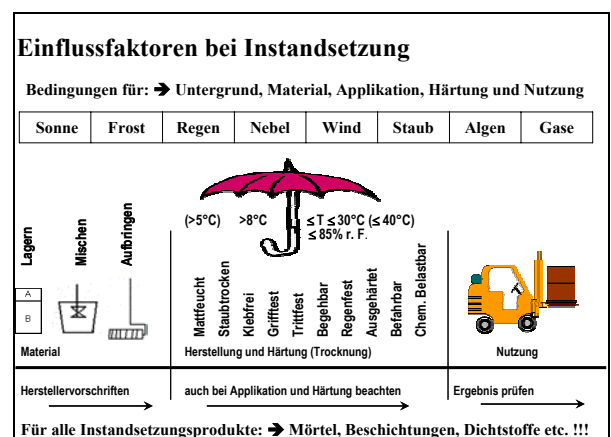
Die Komplexität des Themas wird allein durch die Anzahl der Einflussfaktoren deutlich, die für eine technisch und wirtschaftlich optimierte Instandsetzungsmaßnahme zu betrachten sind. Nachfolgende Ausführungen können daher nur eine Diskussion über die wesentlichsten Parameter sein, die von Seiten der Instandsetzungsmaterialien und deren Verarbeitung zu berücksichtigen sind. Die hierbei generell aufgezeigten Grenzwerte beziehen sich in der Regel auf die aktuell gültigen Normen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken. In Ergänzung zu den bauaufsichtlich eingeführten Richtlinien ist namentlich die VGB-Richtlinie R-612 U, Ausgabe 2005, zu nennen, da sie konkrete Empfehlungen für die Bearbeitung von Kühltürmen und Schornsteinen als Sonderbauwerke beschreibt.

Darüber hinaus sind nicht zuletzt auch durch die permanente Weiterentwicklung der verfügbaren Instandsetzungsmaterialien im Einzelfall Sonderlösungen mit individuell erweiterten Durchführbarkeitsgrenzen möglich. Dies gilt insbesondere für Klimaten, die sich vom Klima Mitteleuropas deutlich unterscheiden.

#### Untergrund

Stahlbeton als Verbundbaustoff besitzt aufgrund seiner vielseitigen Formulierbarkeit entsprechend vielseitige Eigenschaften, die nur in wenigen Punkten qualitativ identisch sind und in starker Vereinfachung wie folgt beschrieben werden können:

- Beton ist ein poröser an seiner Oberfläche gerissener Baustoff.
- Die Alkalität des Bindemittels schützt die Stahlbewehrung gegen Korrosion.
- Beton ohne Stahlbewehrung ist nur bedingt verformbar.
- Beton beinhaltet Wasser und kann Wasser aufnehmen.
- Beton ist chemisch nur bedingt beständig.
- ...



*Bild 1: Vereinfachte Darstellung von Einflussfaktoren bei Instandsetzung und Oberflächenschutz von Bauwerken aus Stahlbeton*

Ist ein Bauteil/Bauwerk aus Stahlbeton geschädigt, so ist unter Berücksichtigung der jeweiligen Statik und Standsicherheit, die hier nicht betrachtet werden, der eigentliche Schaden am Beton durch Betonersatzstoffe so zu beseitigen, dass die ursprüngliche Bauteiloberfläche dauerhaft wieder hergestellt wird. Um die Oberfläche in einen Zustand zu versetzen, damit alle an der Bauteiloberfläche aufzubringenden Instandsetzungsmaterialien einschließlich des Oberflächenschutzes dauerhaft ihren Zweck erfüllen können, müssen diese Oberflächen vorbereitet werden. Zu den wesentlichsten Vorbereitungsmaßnahmen zählen:

- Stemmen
- Druckluftstrahlen mit festem Strahlgut
- Hochdruckwasserstrahlen
- Fräsen
- Staubfreies Kugelstrahlen
- ...

Nach erfolgter Untergrundvorbereitung muss der Zustand der Bauteiloberfläche den dauerhaften Verbund (Haftung) mit den geeigneten Instandsetzungs- und Oberflächenschutzmaterialien sicherstellen. Deshalb empfiehlt sich die Prüfung der Haftzugfestigkeit der Betonoberfläche. Neben der Oberflächenfestigkeit eines zu bearbeitenden Bauteils ist der Grad der Feuchtigkeit vor Applikation von Instandsetzungsmaterialien für den Erfolg jeder Maßnahme von entscheidender Bedeutung. Ein besonderer Aspekt stellt eine auf der zu sanierenden Bauteiloberfläche vorhandene „Altbeschichtung“ dar. Hierbei gilt es zu entscheiden, ob die Beschichtung komplett abgestrahlt werden kann oder muss. Häufig kann eine solche Altbeschichtung nur mit einem wirtschaftlich nicht vertretbaren Aufwand rückstandsfrei entfernt werden. Verbliebene Restanhaftungen von alten Beschichtungen müssen nach der Untergrundvorbereitung auf deren Verbund zum Untergrund geprüft werden. Die im Rahmen der Instandsetzung verwendeten neuen Oberflächenschutzbeschichtungen müssen dann auf die gegebene Situation angepasst werden. Die Verträglichkeit von Neu- und Altbeschichtung ist erforderlichenfalls durch

Probeflächen und deren Prüfung zu belegen. Gemischte Untergründe deren Teilflächen auf mineralischer Basis und Kunststoffbasis aufgebaut sind, setzen bei der Auswahl der Folgebeschichtung besondere Kenntnisse und Erfahrungen voraus.

### Klima

Instandsetzungsmaßnahmen, die im Innern eines Gebäudes zu planen und auszuführen sind, können in den meisten Fällen ohne Rücksicht auf das jeweils herrschende Klima vor Ort realisiert werden. In Innenräumen ist das Klima überdies relativ einfach über Heizung und Lüftung dauerhaft auf erforderliche Werte einzustellen.

Im Gegensatz dazu kommt dem Klima bei frei bewitterten Instandsetzungsmaßnahmen immer eine besondere Bedeutung zu. Hierbei sind die Faktoren Sonne, Temperatur, Wind und Regen häufig ko-Kriterien für eine termingerechte Ausführung, und sie sollten deshalb bei jeder sachkundigen Planung berücksichtigt werden.



*Bild 2: Schema eines Naturzugkühlturms mit Rauchgaseinleitung und vergleichsweise dünner Schale. Höhen bis 200 m sind bekannt.*

Als triviales Beispiel für den zuvor beschriebenen Planungsgrundsatz kann der mitteleuropäische Winter mit seinen nicht planbaren Temperaturänderungen gelten, bei dem nur in Sonderfällen eine technisch einwandfreie Instandsetzung im Freien möglich ist.

### **Baustoffe**

Im Kontext dieser Ausführungen soll der Begriff Baustoff im Gegensatz zum Kunststoff alle Materialien auf mineralischer Basis subsumieren.

Mineralische Baustoffe wie z. B. Mörtel und Spachtel, haben in den meisten Fällen Zement als Bindemittel. Um diese Betonersatzstoffe für Instandsetzungsmaßnahmen die notwendigen Eigenschaften zu verleihen, werden sie in aller Regel mit Polymeren, also Kunststoffen, gezielt vergütet. Die Normung spricht hier von PCC (Polymer Cement Concrete). Ungeachtet der Polymerkomponente muss bei Verwendung dieser Stoffgruppe der Reaktion des Bindemittels Zement mit Wasser, der so genannten Hydratation, als Härtungsvorgang Aufmerksamkeit geschenkt werden. Wird das jeweils vorgeschriebene Mischungsverhältnis also der Wasser/Zement Wert (w/z Wert) beim Mischen des Materials nicht eingehalten, können die geplanten Eigenschaften des Baustoffes nicht erreicht werden, was zu einer Qualitätseinbuße führt. Da die Hydratation, abhängig von der Zementart, einige Zeit benötigt um den Zementstein bei der Härtung des PCC durch Reaktion mit dem Wasser zu bilden, kann der w/z Wert in der Haftungsebene durch den Untergrund herabgesetzt werden, da ein trockener Betonuntergrund Wasser dem frischen Mörtel in der Kontaktzone entzieht. Dies führt häufig zu minderfesten Mörtelschichten und damit zu Haftungsstörungen. Zur Vermeidung eines solchen Mangels ist der zu bearbeitende Betonuntergrund so „vorzunässen“, dass er dem frischen Mörtel kein Wasser entzieht. Jedoch ist Wasser in flüssiger Form auf der Betonoberfläche und den geöffneten Poren an der Oberfläche zu vermeiden, da ansonsten der w/z Wert des

Mörtels durch zusätzliches Wasser ebenfalls negativ beeinflusst wird.

Frische Mörtelschichten müssen andererseits auch an ihrer äußeren Oberfläche gegen zu schnelles Austrocknen geschützt werden, um auch in der oberflächennahen Zone eine geplante Aushärtung des PCC zu ermöglichen. Vorgenannte Fehlerquellen bei Betoninstandsetzungsmaßnahmen werden häufig, trotz detaillierter Hinweise in einschlägigen Richtlinien, unterschätzt.

Mineralische Baustoffe, sieht man von Sonderlösungen einmal ab, sollten ausschließlich auf mineralische Untergründe appliziert werden.

An dieser Stelle sei lediglich darauf hingewiesen, dass die Produkttechnologie der Betoninstandsetzung und da insbesondere beim Oberflächenschutz die Produktgruppe der Polymer-Zementgemische kennt. Diese Materialien verbinden in besondere Weise bestimmte Eigenschaften mineralisch- und kunststoffgebundener Oberflächenschutzsysteme.

Sowohl die „ZTV ING“ als auch die „RiLi SIB“ geben über die Eigenschaften aller hier genannten Stoffsysteme detailliert Auskunft.

### **Kunststoffe**

Ist von Kunststoffen am Bau die Rede, so können sich dahinter sehr unterschiedliche Bindemittel mit erheblich unterschiedlichen Eigenschaften verbergen.

In grober Vereinfachung wird unterschieden zwischen ein- und mehrkomponentige Beschichtungssysteme einerseits und zwischen Reaktionskunststoffe und physikalisch trocknende Beschichtungen andererseits.

Anders als bei dem einen mineralischen Bindemittel „Zement“, können die Kunststoffe gezielt (maßgeschneidert) auf ganz bestimmte Eigenschaften sowohl für die Verarbeitung als auch für die Nutzung (Belastung) im ausgehärteten Zustand formuliert werden.

Ohne auf die ungeheuere Vielfalt der heute zur Verfügung stehenden Kunststoffe, die als Beschichtungen und Oberflächenschutz von

Betonbauwerken eingesetzt werden, näher einzugehen, lassen sich die gängigsten Bindemittel wie folgt auflisten:

- **Akrylate** werden hauptsächlich als physikalisch trocknende einkomponentige Oberflächenschutzsysteme für atmosphärisch belastete Betonoberflächen eingesetzt. Aus physiologischen und ökologischen Gründen werden zunehmend in den letzten Jahren nur noch wässrige Dispersionen verwendet. Dispersionen mit organischen Lösemitteln werden relativ kurzfristig komplett vom Markt verschwinden, da die wässrigen Typen vergleichbar gute oder sogar bessere Eigenschaften besitzen. Die häufig gestellte Anforderung der Rissüberbrückung durch flexible Beschichtungen können mit dieser Produktgruppe in einem weiten Spektrum abgedeckt werden.
- **Epoxy** als echte Reaktionsharze werden immer als zweikomponentige Beschichtungen eingesetzt. Aufgrund ihrer Festigkeit werden sie fast ausschließlich im Bereich hoch belasteter Industrieböden frei von organischen Lösemitteln verwendet. Auch bei dieser Bindemittelgruppe werden immer häufiger die organischen Lösemittel durch Wasser zur Herstellung von Dispersionen ersetzt. Nur bei speziellen Beschichtungstypen im Ingenieurbau behalten organisch gelöste Epoxyharze bis auf weiteres ihre Berechtigung, da mit wässrigen Systemen deren besondere Eigenschaften noch nicht erreicht werden. Epoxyharze sind nur moderat, wenn überhaupt, flexibilisierbar. So sind Spezialtypen im Markt etabliert, die seit Jahren die moderate Rissüberbrückung, wie sie im Gewässerschutz von Abdichtungssystemen nach § 19 WHG gefordert werden, erfüllen. Wesentlich für den häufigen Gebrauch dieser Bindemittelgruppe für den Oberflächenschutz von Beton ist die Alkalibeständigkeit von Epoxy. Ein Handicap der Epoxyharze stellt deren Schwäche gegen eine bei der

Freibewitterung immer auftretende UV-Belastung durch Sonnenlicht dar.

Darunter leidet einerseits die Farbtonstabilität einer solchen Beschichtung, und aufgrund des so genannten „Kreidens“ an der Beschichtungs Oberfläche wird andererseits die Schichtdicke während der Nutzungsdauer reduziert.

- **Polvurethan** als Bindemittel von Beschichtungen für den Oberflächenschutz von Stahlbeton besitzt die höchste Variabilität um maßgeschneiderte Eigenschaften zu erzielen. So gilt auch für diese Gruppe, dass die Beschichtungen sowohl lösemittelfrei, lösemittelhaltig und als wässrige Dispersion angeboten werden. Als Besonderheit ist zu nennen, dass dieses Reaktionsharz auch als einkomponentige Beschichtungstypen hergestellt werden kann. In einem solchen Fall wird die Feuchtigkeit der umgebenden Luft nach Applikation der Beschichtung als Reaktionspartner zur Härtung der Beschichtung genutzt. Im Gegensatz zum Epoxy ist das Bindemittel Polyurethan sehr gut flexibilisierbar. Andererseits jedoch ist die Alkalibeständigkeit in der Regel schlechter als beim Epoxy. An dieser Stelle sei nur darauf hingewiesen, dass das hier beschriebene Hauptspektrum der zur Verfügung stehenden Bindemittelgruppen durch nicht so häufig verwendete alternative Bindemittel wie z. B. PMMA, Polyester, Furanharze etc. komplettiert wird. Last but not least, sind auch Kombinationen von Bindemitteln in einem Beschichtungsmaterial wie z. B. EP/PU bekannt.

Aus der Fülle der hier aufgelisteten Möglichkeiten, Beschichtungen für den Oberflächenschutz von Betonbauwerken zu formulieren, wird deutlich, dass es besonderer Erfahrung bedarf, das optimale Material für den jeweils individuellen Anwendungsfall auszuwählen. Insbesondere gilt dies für den Oberflächenschutz von extrem hohen und

großflächigen Schalenbauwerken wie z. B. Kühltürme und Industrieschornsteine im Kraftwerksbau. Neben den Standardanforderungen werden an solchen Bauwerken immer auch besondere Eigenschaften von Beschichtungen gefordert, die gegen die Einwirkungen aus dem Betrieb der Anlagen dauerhaft beständig sind. Einzelheiten hierzu werden in der zitierten VGB-Richtlinie detailliert beschrieben.



*Bild 3: Industrieschornsteine werden im Gleitschalungsbau von einer Nachlaufbühne mit speziellen Beschichtungen nachbehandelt und gleichzeitig geschützt. Höhen über 400 m sind bekannt.*

Für die Standardfälle der Betoninstandsetzung bieten die aktuell geltenden Richtlinien eine gute Anleitung für die zu treffende Auswahl. So wie für die bauaufsichtliche Zulassung der Materialien eine Grundprüfung und Fremdüberwachung existiert, werden auch die Sonderprodukte für den Kraftwerksbau auf die besonderen Anforderungen geprüft und fremd überwacht.

Darüber hinaus ist das notwendige Know How bei den meisten Produktanbietern für die planerischen Aufgaben abrufbar.

### Applikation

Die oben beschriebene materialbedingte Lösungsvielfalt bei der Instandsetzung fordert logischerweise ein umfangreiches Wissen und Können von denjenigen, die die geplanten Maßnahmen erfolgreich am Bauwerk umsetzen müssen. Nicht zuletzt beschreiben die bereits zitierten Richtlinien im Detail, welche Qualifikation und Erfahrung das Ausführungspersonal besitzen muss, damit Instandsetzungen erfolgreich und dauerhaft für die zukünftige Nutzung des Bauwerks ausgeführt werden können.

Für das Erreichen geplanter Instandsetzungsziele ist ein funktionierendes Qualitätsmanagement während der Ausführung einschließlich einer Prüfung des fertigen Zustandes notwendige Voraussetzung. Das Protokollieren der Eigenüberwachung des Verarbeiters in einem Bautagebuch sollte obligatorisch sein.

Eine stichpunktartige Fremdüberwachung durch einen unabhängigen sachkundigen Ingenieur ermöglicht dann ein qualifiziertes Urteil über den Erfolg der gesamten Maßnahme.

Eine derart konsequente Qualitätssicherung, die notwendigerweise Vertragsbestandteil sein muss, minimiert sowohl Fehlerquellen als auch Interessenkonflikte vor, während und nach Abschluss einer jeden Maßnahme. Dies ist umso wichtiger, je höher die Bauwerke sind, weil die zu bearbeitenden Flächen mit zunehmender Höhe nur aufwändig und damit teuer zu erreichen sind.

Berücksichtigt man die Vielzahl der möglichen Fehlerquellen, wie sie in dieser Darstellung grob vereinfacht und in den Regelwerken detailliert beschrieben sind, so kommt der sachkundigen Planung auf der Grundlage umfangreicher Erfahrung von Instandsetzungsmaßnahmen an Sonderbauwerken im Kraftwerk besondere Bedeutung zu.

Bottrop im März 2007  
Andreas Kochan