

Beton und Stahlbetonkonstruktionen Möglichkeiten und Grenzen der Instandsetzung

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren Beton und Stahlbeton so weit entwickelt, daß damit Architekten und Ingenieuren ein neuer Baustoff und neue Konstruktionsprinzipien zur Verfügung standen, die das Antlitz der Moderne in entscheidendem Maße mitgeprägt haben. Fehler schon beim Entwurf, in der Werkstoffwahl, in der Herstellung, aber auch die zunehmende Aggressivität unserer Umwelt führten dazu, daß sich die Hoffnungen auf wartungsfreie Konstruktionen aus Beton langfristig nur selten erfüllten. Die Instandsetzung von Beton- und Stahlbetonbauwerken ist daher heute auch wirtschaftlich zu einer bedeutenden Bauaufgabe geworden.

Jedem Denkmalschützer ist bewußt, daß solche Maßnahmen behutsam erfolgen sollen, um die alte Bausubstanz möglichst weitgehend zu erhalten. Manchem Bauherrn ist diese Forderung aber nur schwer zu vermitteln, denn für viele ist eine Instandsetzung erst dann besonders gut gelungen, wenn das Bauwerk am Ende wie neu aussieht. Natürlich setzen aber die technischen Möglichkeiten der Erhaltung der alten Bausubstanz von Betonbauwerken Grenzen, auf die im folgenden an Hand verschiedener Fallbeispiele eingegangen wird.

Typische Schadensbilder und deren Ursachen

Die häufigsten an Betonbauwerken auftretenden Schäden sind:

- das Abplatzen der Betonüberdeckung der Bewehrung als Folge einer Korrosion von oberflächennahen Bewehrungsstählen (Abb. 1),
- die Verwitterung der Betonoberflächen durch die Einwirkung von Frost oder anderen Umwelteinflüssen (Abb. 2),
- feine Risse in den Betonoberflächen, verursacht durch das Schwinden des Betons oder breite, durchgehende Risse, häufig als Folge behinderter Schwind- oder Temperaturverformungen der Konstruktion,
- sog. Kiesnester; dies sind hohlraumreiche Bereiche, in denen der Beton bei seiner Herstellung nur ungenügend verdichtet wurde oder aus denen die Feinteile des Frischbetons auslaufen konnten (Abb. 3). Soweit Kiesnester nicht aus ästhetischen Gründen beanstandet werden, sind sie aber nur dann als Schäden einzustufen, wenn dadurch die Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit der Konstruktion und insbesondere der Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigt werden.

Nach unserem heutigen Kenntnisstand sind die oben aufgeführten Schäden vermeidbar, wenn bestimmte Konstruktionsgrundsätze und Regeln über die Herstellung und Zusammensetzung des Betons eingehalten werden.¹ Neben diesen Schäden, die vorwiegend in den oberflächennahen Bereichen von Beton- und Stahlbetonkon-

struktionen auftreten, können auch konstruktive Mängel oder erhöhte Beanspruchungen, die sich z. B. aus einer veränderten Nutzung ergeben, Instandsetzungs- oder Verstärkungsmaßnahmen erforderlich machen, auf die in diesem Beitrag aber nicht eingegangen wird.

Die Schäden, die an den Fassaden von Betonbauwerken am häufigsten auftreten, sind das Abplatzen der Betonüberdeckung als Folge einer Korrosion darunter liegender Stahlbewehrung, wie dies in Abb. 1 gezeigt ist. Vor allem die folgenden Mechanismen können solche Schäden auslösen:

- die Karbonatisierung des Betons,
- die Einwirkung von Tausalzen oder Meerwasser.

Bekanntlich ist in Beton eingebetteter Stahl wegen der Alkalität des Betons hervorragend gegen Korrosion geschützt.² Dieser Korrosionsschutz geht aber verloren, wenn der Beton seine Alkalität durch die sog. Karbonatisierung verliert. Sie stellt sich ein, wenn Kohlendioxid aus der Luft in den Beton eindringt und dort mit jenen Betonkomponenten reagiert, die für die Alkalität des Betons verantwortlich sind.^{2,3} Die Karbonatisierung beginnt an der Oberfläche des Betons und dringt im Lauf der Zeit in immer tiefer liegende Bereiche vor. Fachgerecht zusammengesetzter und hergestellter Beton ist aber so dicht, daß die Tiefe der Karbonatisierungsfront auch nach mehreren Jahrzehnten erst wenige Millimeter beträgt, so daß der Korrosionsschutz der Bewehrung erhalten bleibt, vorausgesetzt die Betonschicht, welche die Stahlbewehrung überdeckt, war ausreichend dick. Dies ist leider des öfteren nicht der Fall, so daß eine zu geringe Überdeckung der Bewehrung zu den häufigsten Ursachen von Oberflächenschäden an Stahlbetonkonstruktionen zählt.⁴ Aber auch in karbonatisiertem Beton eingebetteter Stahl korrodiert nur dann mit nennenswerter Geschwindigkeit, wenn der Feuchtegehalt des Betons ausreichend hoch ist. Dies ist meist nur dann gegeben, wenn eine Betonoberfläche wenigstens zeitweise flüssigem Wasser z. B. in Form von Schlagregen ausgesetzt ist. Auch in Beton, der nicht karbonatisiert ist, kann die Einwirkung von chloridhaltigen Wassern, z. B. Meerwasser oder Tausalzlösungen eine Stahlkorrosion auslösen.³

Instandsetzungskonzepte

Die anerkannten technologischen Konzepte zur Instandsetzung von Beton- und Stahlbetonkonstruktionen sind in verschiedenen Richtlinien behandelt.^{5,6} Grundsätzlich ist eines der wesentlichsten Ziele von Instandsetzungsmaßnahmen die Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Bewehrung. In den meisten Fällen, in denen die Korrosion durch Karbonatisierung ausgelöst wurde, geschieht dies durch eine sog. Realkalisierung. Im allgemeinen wird

dazu der karbonatisierte Beton, soweit er geschädigt ist, entfernt und durch einen zementgebundenen und daher alkalischen Mörtel ersetzt. Darauf erfolgt ein weiterer, *großflächiger Auftrag* einer ausreichend dicken Schicht aus alkalischem Mörtel oder Beton. Diese Schicht ist dann ausreichend dick, wenn davon ausgegangen werden kann, daß während der gewünschten Lebens- oder Nutzungsdauer des Bauwerks die Karbonatisierungsfront im Mörtel den Bewehrungsstahl nicht erreicht. Bei einem solchen großflächigen Auftrag einer Mörtelschicht muß der karbonatisierte Beton nur dann entfernt werden, wenn er z. B. durch den Sprengdruck darunter liegender Bewehrung bereits geschädigt ist. Der ungeschädigte, karbonatisierte Mörtel wird bei ausreichendem Feuchteangebot durch Diffusion von OH-Ionen aus dem Reparaturmörtel realkalisiert.

Neben einer solchen großflächigen Instandsetzung ist auch eine nur *örtliche Instandsetzung* grundsätzlich möglich, wenn sichergestellt ist, daß in den auszubessernden Bereichen der Bewehrungsstahl vor dem Auftrag des Ausbesserungsmörtels bis in den noch alkalischen Altbeton hinein freigelegt wurde.

Eine weitere Möglichkeit ist das *Beschichten der Bewehrung* mit einem Schutzanstrich in allen Bereichen, in denen der Stahl bereits korrodiert ist oder in denen während der Restnutzungsdauer des Bauteils mit einem Verlust des Korrosionsschutzes zu rechnen ist. Eine solche Maßnahme ist vor allem dann sinnvoll oder erforderlich, wenn der Instandsetzungsmörtel nicht in ausreichender Dicke aufgetragen werden kann oder wenn mit der Einwirkung von Chloriden zu rechnen ist.

In jüngerer Zeit wurden auch *elektrochemische Verfahren* zur Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Bewehrung entwickelt und erprobt, so z. B. der kathodische Korrosionsschutz, die Entfernung von Chloriden oder die Wiederherstellung der Alkalität durch Anlegen eines elektrischen Stromes an das Bewehrungsnetz.^{7,8(9)} Selbst wenn damit auch schon Erfolge verzeichnet wurden, ist der bisher gewonnene Erfahrungsschatz noch begrenzt und die Erfolge nicht immer eindeutig. Darüber hinaus bedürfen einige dieser Verfahren einer laufenden Wartung und Betreuung, so daß auf diese Ansätze hier nicht näher eingegangen wird.

Häufig werden instandgesetzte Sichtbetonoberflächen abschließend mit einer dünnen Beschichtung oder einem *Anstrich* zum Schutz gegen das Eindringen von Wasser oder Kohlendioxid versehen. Bei elektrochemisch realkalisiertem Beton ist dies sogar unabdingbar.

Noch schwerwiegender ist der erforderliche Eingriff in die Bausubstanz, wenn die Schäden auf die Einwirkung von Tausalzen zurückzuführen sind.¹⁰ Leider kann auf diese vor allem für Verkehrsbauten bedeutende Problematik hier nicht näher eingegangen werden.

Instandgesetzte Betonkonstruktionen – Fallbeispiele

Im folgenden werden an Hand von 5 Beispielen einige Instandsetzungsmaßnahmen, die an älteren Betonbauwerken durchgeführt wurden, erläutert. An der Instandsetzung von drei dieser Bauwerke waren die Autoren dieses

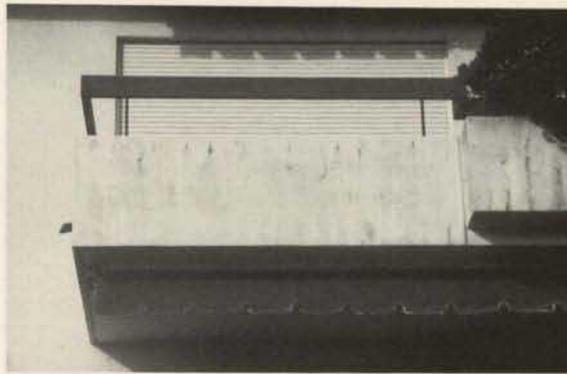


Abb. 1
Oberflächen-schäden an einer Balkonbrüstung aus Stahlbeton als Folge einer Karbonatisierung des Betons und Korrosion der Bewehrung



Abb. 2
Durch Frost- und Tausalzeinwirkung geschädigte Oberfläche einer Betonfahrbahn



Abb. 3
Kiesnest als Folge einer ungenügenden Verdichtung des Betons



Abb. 4
Säulenreihe des Kongreßzentrums Karlsruhe

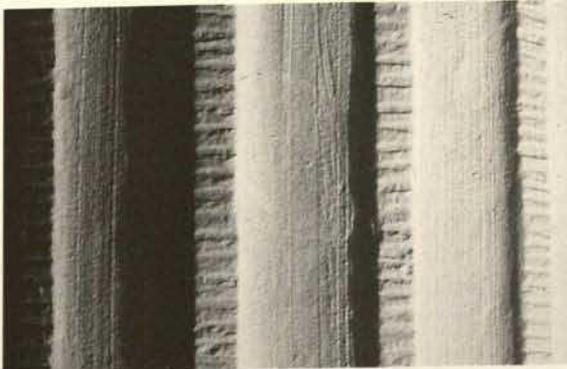
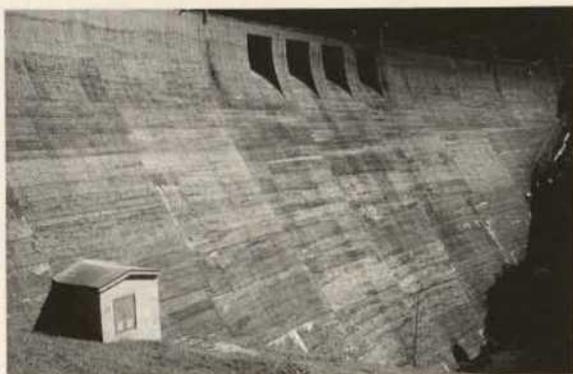


Abb. 5
Instandgesetzte historische Stahlbetonsäule des Kongreßzentrums Karlsruhe

Abb. 6
Ansicht der
Schluchseetal-
sperre



Beitrags selbst beteiligt. Im Jahre 1982 wurde die alte *Stadthalle in Karlsruhe* abgetragen und durch ein modernes und größeres Kongreßzentrum ersetzt. Lediglich die Säulenhalle im Eingangsbereich der alten Stadthalle blieb als Baudenkmal erhalten (Abb. 4). Zusammen mit Dr.-Ing. K. Kleiser aus Karlsruhe hatten wir den Auftrag, Konzepte für die Sicherung der Säulen zu entwickeln. Die Säulen aus Stahlbeton wurden um die Jahrhundertwende errichtet und gehören zu den ältesten erhaltenen Stahlbetonelementen in Karlsruhe. Die meisten dieser Säulen mit einem Außendurchmesser von ca. 90 cm sind hohl. Die ca. 15 cm dicken Wandungen sind mit glatten Rundstäben, Durchmesser ca. 25 mm, bewehrt. Obwohl der Beton vollständig karbonatisiert war, zeigte die Bewehrung keine größeren Korrosionsschäden. Eine direkte Beaufschlagung mit Regen war auch nach dem Umbau der Stadthalle nur in begrenztem Umfang wahrscheinlich. Trotzdem erschien es uns damals angezeigt, nicht nur die vorhandenen Risse zu verpressen und die Säulen, soweit erforderlich, mit einem kunststoffmodifizierten Mörtel zu reprofilieren, sondern sie abschließend zum Schutz gegen Feuchte mit einer Polymerdispersion vollflächig zu beschichten. Abb. 5 zeigt die Säulen 14 Jahre nach ihrer Instandsetzung. Sie sind zwar nach wie vor ohne Schaden, aber die Denkmalgerechtigkeit dieser Maßnahme stellen wir heute in Frage, denn nicht einmal der Fachmann kann erkennen, daß es sich hier um historische Elemente aus Stahlbeton handelt.

Häufig werden Betonfassaden nach einer entsprechenden Vorbereitung des Betonuntergrunds durch vollflächigen Auftrag von Spritzbeton instandgesetzt. Diese Methode wurde vor wenigen Jahren an dem *Schwesternhochhaus des Universitätsspitals Zürich* von der Firma E. Laich SA

Abb. 7
Ausparung in
der Vorsatz-
schale der
instandgesetzten
St.-Antonius-
Kirche in Basel



aus Avegno, Tessin u.E. sehr erfolgreich angewandt.¹¹ Das 20stöckige Gebäude wurde 1959 eingeweiht. Da die Betonüberdeckung der Bewehrung nicht ausreichend war, traten trotz relativ geringer Karbonatisierungstiefen Schäden auf, die durch eine Korrosion der Bewehrung ausgelöst waren. Zur Instandsetzung wurde der schadhafte Beton abgetragen und dann auf alle Fassaden großflächig eine 3 cm dicke Spritzbetonschicht aufgebracht. Die Oberflächen des in seiner Zusammensetzung dem alten Beton angepaßten Spritzbetons wurden unmittelbar nach dem Auftrag so bearbeitet, daß sie in ihrer Struktur weitgehend der ursprünglichen Oberfläche des Betons entsprachen.

Eine besondere Art der großflächigen Instandsetzung von Sichtbetonfassaden wurde von der Eglin Ristic AG Basel entwickelt und bei der Instandsetzung der *St. Antonius-Kirche in Basel* angewandt.¹² Diese in Abb. 11 gezeigte Kirche aus Stahlbeton, die in den Jahren 1925 bis 1927 von Karl Moser entworfen und gebaut wurde, zeigte Schäden an den Sichtbetonfassaden als Folge der Karbonatisierung des Betons und nachfolgender Korrosion der Bewehrung in Verbindung mit einer zu geringen Betonüberdeckung sowie einer Anhäufung von schlecht verdichteten Bereichen und Kiesnestern. Nach dem Konzept von Ristic wurde zunächst der karbonatisierte Beton großflächig und ca. 4 cm tief abgetragen und dann durch eine in einer vorgesetzten Schalung als Ortbeton hergestellte, 6 cm dicke Betonschale ersetzt, die mit dem Altbeton verdübelt ist. Durch eine in Abb. 7 gezeigte kleine Ausparung in der vorgesetzten Schale wird diese Konzeption verdeutlicht. Sicherlich war es schwierig, die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen zuverlässig und auch denkmalgerecht durchzuführen. Trotzdem ruft dieser Anblick der zubetonierten Moderne zumindest ein Gefühl des Unbehagens hervor.

Nun zu einem ganz andersartigen Bauwerk, das im Sinn der Baugeschichte wohl nicht der »Moderne« zuzuordnen ist, das aber als Ingenieurbauwerk und im Hinblick auf die schließlich erfolgte Beurteilung der Notwendigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen von Bedeutung ist. Dies ist die in den Jahren 1929 bis 1932 erbaute *Schwerewichtsstaumauer* aus unbewehrtem Beton des *Schluchsees* im südlichen Schwarzwald (Abb. 6). Im Jahre 1995 erhielten wir von der Schluchseewerk AG den Auftrag, den derzeitigen Zustand der Luftseite der Schluchseesperre zu erkunden und, so weit erforderlich, ein Erhaltungskonzept vorzuschlagen. Die Talsperre ist an ihrer Krone ca. 4 m und an ihrer Sohle ca. 35 m breit. Der Kernbeton wird sowohl an der Luft- als auch an der Wasserseite durch einen ca. 1 m dicken, höherwertigen Vorsatzbeton geschützt.

Im Rahmen unserer Untersuchungen erstellten wir zunächst eine umfangreiche allgemeine Schadensaufnahme und eine Photodokumentation über den derzeitigen Zustand der Talsperre. Darauf aufbauend, wurden in über hundert repräsentativen Bereichen die Härte und Festigkeit des Vorsatzbetons an der Oberfläche und in unterschiedlichen Tiefen, das Ausmaß der Abwitterungen, sowie der Verlauf, die Breite und die Tiefe von Rissen erfaßt. Die Tiefe der Abwitterungen schwankte zwischen nahezu null und maximal 70 mm bei einem Mittelwert von etwa 10 mm. Dies

ist ca. 1 % der Dicke des Vorsatzbetons. Wesentliche Ursache dieser Abwitterungen ist die Frostbeanspruchung der luftseitigen Oberfläche der Sperre, die allerdings je nach dem von den örtlichen Gegebenheiten abhängigen Grad der Durchfeuchtung sehr unterschiedlich ist.

Bereits früher wurde eine vermeintliche Sicherung der alten Betonoberfläche mit Spritzbeton erprobt. Dies ist fehlgeschlagen. Der Spritzbeton ist deutlich gerissen und liegt teilweise hohl, weil er im Vergleich zum Untergrund zu steif und zu fest ist.

Unsere Untersuchungsergebnisse, die hier nicht im Detail dargestellt werden können, erlaubten den Schluß, daß der ursprüngliche Vorsatzbeton seine Funktion, nämlich den Kernbeton zu schützen, auch weiterhin erfüllt. Eine großflächige Instandsetzung der Luftseite der Sperre ist daher auch mittelfristig noch nicht erforderlich. Die teilweise bewachsene Betonoberfläche, die sich so ihrer Umgebung selbst angeglichen hat, kann noch geraume Zeit in diesem Zustand belassen werden. Wir empfehlen jedoch örtlich Ausbesserungen mit einem dem Originalbeton angepaßten Mörtel in Bereichen sehr tiefer Abwitterungen, also vor allem an Fugen und Rissen. Auf dabei anzuwendende Techniken wird im letzten Fallbeispiel eingegangen.

Die *Stuttgarter Liederhalle* wurde in den Jahren 1954 bis 1956 von Adolf Abel und Rolf Gutbrod entworfen und erbaut. Im Rahmen von Umbau- und Restaurierungsarbeiten während der Jahre 1991 bis 1993 (Abb. 8) sollten auch Schäden an den Sichtbetonfassaden des Beethovensaals der Liederhalle behoben werden. Zusammen mit dem Büro für Baukonstruktionen Wenzel, Frese, Pörtner und Haller aus Karlsruhe erhielten wir den Auftrag, ein Konzept für eine behutsame Instandsetzung dieses denkmalgeschützten Bauwerks unter optimaler Wahrung der vorhandenen Bausubstanz zu entwickeln und ggf. auch umzusetzen. Besonders hervorzuheben sind hier die Leistungen und das Engagement von R. Pörtner und H. Baumstark vom Büro für Baukonstruktionen bei der Erfüllung dieses Auftrags.

Der erste Schritt unserer Arbeiten war eine detaillierte Zustandserfassung des Bauwerks, verbunden mit technologischen Voruntersuchungen, die dann eine Prognose des zu erwartenden weiteren Fortschritts der Schäden erlaubten. Dazu wurden sieben größere, über alle Fassaden verteilte Bereiche zugänglich gemacht. An 82 Stellen, an denen äußerlich noch keine Schäden festzustellen waren, wurden Härte und Festigkeit der Betonrandzone, die Karbonatisierungstiefe des Betons, die Betondeckung und der Korrosionszustand der Bewehrung bestimmt. Bei den Schäden oder Mängeln handelte es sich im wesentlichen um:

- Abplatzungen der Betonüberdeckung als Folge einer Korrosion darunter liegender Bewehrung,
- Kiesnester in einigen Bereichen der Betonoberflächen und
- Zwängungsrisse als Folge fehlender Dehnungsfugen.

Auf der Grundlage der detaillierten Voruntersuchungen war es möglich, jene Bereiche zu definieren, die bereits als geschädigt erkennbar waren oder bei denen eine Schädigung in näherer Zukunft zu erwarten war. Die Instandsetzung wurde auf diese Bereiche begrenzt, d.h.



Abb. 8
Außenfassade
des Beethovensaals
der Liederhalle
in Stuttgart

auf einen großflächigen Schutz wurde verzichtet. Damit war zwar nicht auszuschließen, daß auch in Zukunft weitere Schäden auftreten. Deren Umfang sollte aber so gering sein, daß solche Schäden im Zuge der Bauunterhaltung, die damit ein Teil des Sanierungskonzeptes ist, behoben werden können. Aufbauend auf Untersuchungen über die Zusammensetzung des Altbetons und Recherchen über die Herkunft seiner Komponenten wurden ein dem Originalbeton sehr ähnlicher zementgebundener Reparaturmörtel ohne Kunststoffzusätze sowie geeignete Arbeitstechniken entwickelt und erprobt.

Im Zuge der Instandsetzungsmaßnahmen wurden zunächst alle Betonoberflächen abgewaschen. Dann wurden die Instandsetzungsbereiche durch vertikale und horizontale Linien festgelegt und begrenzt, die sich aus der architektonisch vorgegebenen Gliederung der Oberflächen ergaben. Der Beton wurde entlang dieser Linien eingeschnitten und abgetragen. Dabei wurde die Bewehrung so weit freigelegt, bis sie in nicht karbonatisierten Beton einmündete (Abb. 9). War die freigelegte Bewehrung aus konstruktiven Gründen, z.B. als Schwindbewehrung, nicht mehr erforderlich, so wurde sie entfernt. Die Dicke des Ausbesserungsmörtels richtete sich im allgemeinen nach dem Niveau der originalen Betonoberflächen, welche die Ausbesserungsschicht umgaben. In jenen Fällen, in denen sich dadurch in einem Instandsetzungsbereich eine zu geringe Betonüberdeckung ergab, wurde die Bewehrung als Korrosionsschutzmaßnahme mit einer Beschichtung versehen. Zur Instandsetzung wurde die so vorbereitete Ausbruchstelle vorgeätzt, eine zementgebundene Haftbrücke aufgetragen und der Reparaturmörtel mit einer Kelle eingebracht. Der Instandsetzungsmörtel wurde mehrere Tage lang feucht nachbehandelt und dann



Abb. 9
Vorbereiteter
Instandsetzungsbereich
an der Außenfassade
des Beethovensaals

steinmetzmäßig bearbeitet, um den reprofilierten Bereich an die ursprüngliche Oberflächenstruktur anzugleichen. Abb. 10 zeigt den Endzustand eines so ausgebesserten Bereichs.

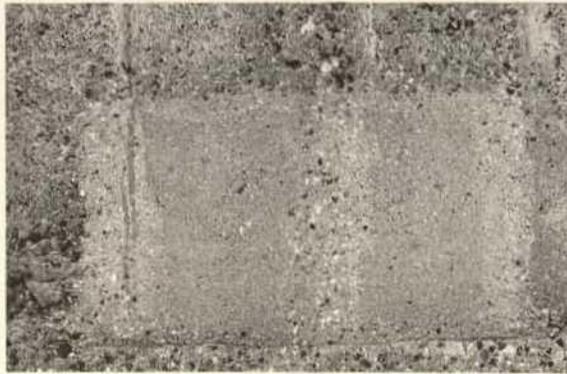
Herstellungsbedingte Kiesnester wurden nur dann bearbeitet, wenn dies aus Gründen des Korrosionsschutzes der Bewehrung erforderlich war. Risse, insbesondere Zwängungsrisse wurden nicht behandelt, da sie die Standsicherheit und die Dauerhaftigkeit des Bauwerks nicht beeinträchtigten.

Daß das für die Liederhalle gewählte Instandsetzungskonzept richtig war, wird durch den überzeugenden Gesamteindruck des restaurierten Bauwerks sowie durch mehrere Überprüfungen zu späteren Zeitpunkten bestätigt: Auch fünf Jahre nach der Instandsetzung wurden weder Schäden in den bearbeiteten Bereichen noch neue Schäden festgestellt (Abb. 12). Weitere Einzelheiten über die Instandsetzung der Stuttgarter Liederhalle sind schon an anderer Stelle publiziert worden.^{13,14}

Folgerungen

Die vorgestellten Beispiele haben gezeigt, daß es für die Instandsetzung von Betonbauwerken keine einzelne, stets

Abb. 10
Instandgesetzte
Oberfläche an
der Außen-
fassade des
Beethovensaals



anwendbare Patentlösung gibt. Im Fall der Schluchseesperre haben wir die Frage, ob eine umfangreiche Instandsetzung zum jetzigen Zeitpunkt überhaupt erforderlich ist, verneint. Diese Antwort auf eine Frage, die doch bei jeder Maßnahme gestellt werden müßte, war nur aufgrund der sehr detaillierten Untersuchungen und Bauwerksanalysen möglich, die auch eine Prognose des zu erwartenden weiteren Schadensfortschritts erlaubten.

Der vollflächige Auftrag von Spritzbeton bei der Instandsetzung des Schwesternhochhauses im Universitätsspital Zürich war u. E. gerechtfertigt, einerseits, weil es gelang, die neue Oberflächenstruktur jener eines geschalteten Betons gut anzugleichen, andererseits, weil durch diese Maßnahme die geradlinige Architektur und der Gesamteindruck des Bauwerks nicht verändert wurden.

Eine strukturierte und lebendige Sichtbetonoberfläche, die wie bei der Stuttgarter Liederhalle ein Teil des architektonischen Gesamtkonzeptes ist, wäre durch eine vollflächige Instandsetzung weitgehend zerstört worden. Die von uns gewählte örtliche Instandsetzung setzte sonst kaum übliche, sehr detaillierte Voruntersuchungen voraus. Auch die steinmetzmäßige Bearbeitung der neuen Ober-

flächen, die in dieser Konsequenz bei Betonkonstruktionen bisher kaum angewandt wurde, ist ein wesentlicher Teil dieses Instandsetzungskonzepts. Trotzdem ist ein solches Vorgehen nicht immer sinnvoll. Die Gliederung der Fassade der Liederhalle durch viele vertikale und horizontale Linien trug dazu bei, daß nach der Instandsetzung nicht der Eindruck von Flickwerk entstand. Auch war der Schadensumfang relativ gering. So wurden weniger als 5 % der gesamten Sichtbetonoberfläche reprofiliert. Die Kosten der Instandsetzung stiegen daher nicht ins Unermessliche und waren sogar etwas niedriger als jene einer vollflächigen, konventionellen Instandsetzung, mit der die ursprüngliche Oberfläche unwiederbringlich verlorengegangen wäre.

Ohne Zweifel ist die Bereitschaft aller an solchen Arbeiten Beteiligten, diesen für Betonkonstruktionen recht unkonventionellen Weg zu gehen, eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg und bei der Instandsetzung der Liederhalle fanden wir diese Bereitschaft.

Anmerkungen

- 1 H.K. Hilsdorf, *Beton*, in: *Beton-Kalender 1996*, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1996.
- 2 CEB - Comité Euro-International du Béton: *Durable concrete structures - CEB design guide: CEB Bulletin d'Information No. 182*, Lausanne, 1989.
- 3 P. Schießl, *Corrosion of Steel in Concrete*. Report of RILEM Technical Committee 60-CSC, London, New York, 1988.
- 4 D. Bunte, *Zum karbonatisierungsbedingten Verlust der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton*, Heft 436 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin 1993.
- 5 Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen*, ZTV-SIB90.
- 6 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: *Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen; Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze; Teil 2: Bauplanung und Bauausführung*, August 1990.
- 7 B. Isecke, *Kathodischer Schutz von Stahl in Beton - Stand der Technik*, in: *Berichtsband zur 3. Fachtagung über Betoninstandsetzung am 27. u. 28. Januar 1994 in Innsbruck-Igls*, Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck.
- 8 H.R. Eichert, B. Witke und K. Rose, *Elektrochemischer Chloridentzug*, in: *'Beton'*, Heft 4, 1992.
- 9 J. Mietz, B. Isecke, B. Jonas und F. Zwiener, *Elektrochemische Realkalisierung zur Instandsetzung korrosionsgefährdeter Stahlbetonbauteile*, in: *Werkstoffwissenschaften und Bausanierung*, Teil 1, Tagungsbericht des 3. internationalen Kolloquiums zum Thema *Werkstoffwissenschaften und Bausanierung*, Expert Verlag, 1993.
- 10 W. Lukas und W. Kusterle, *Großflächige Betoninstandsetzung von frosttausalzgeschädigten Betonen durch dünne Spritzbetonschichten*, in: *Baustofftechnische Einflüsse auf Konstruktionen*, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1990.
- 11 P. Teichert, *Instandsetzung der Fassaden eines Hochhauses mit Spritzbeton*, in: *Berichtsband zur 3. Fachtagung über Betoninstandsetzung am 27. und 28. Januar 1994 in Innsbruck-Igls*, Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck.
- 12 V. Ristic, *Informationen anlässlich des Symposiums zur Betonanierung des Goetheanums, Dornach, Schweiz, 2.-4. März 1994*.
- 13 M. Günter und H.K. Hilsdorf, *Technologie der Instandsetzung der Stahlbetonfassaden des Beethovensaals der Liederhalle Stuttgart*, in: *Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke*, Jahrbuch 1994, Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe.
- 14 R. Pörtner, *Liederhalle Stuttgart. Instandsetzung der Betonfassaden des Beethovensaals*, in: *Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Arbeitsheft 4*, Stuttgart 1995.



Abb. 11
Die instand-
gesetzte
St. Antonius-
Kirche in Basel



Abb. 12
Nordfassade
des Beethoven-
saals nach der
Instandsetzung