

Zeitschrift:	Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	108 (1990)
Heft:	22
Artikel:	Betonschäden - Betonsanierung: Gegebenheiten und Ansprüche der Praxis - Erfolg und Risiko der Betonsanierung
Autor:	Romer, Albert
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-77445

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Betonschäden – Betonsanierung

Gegebenheiten und Ansprüche der Praxis – Erfolg und Risiko der Betonsanierung.

Die Art der Projektierung, die Eignung der Saniersysteme, die leistungsorientierte Ausführung und ingenieurmässige und werkstofftechnologische Basis sind die wesentlichen Pfeiler geeigneter und wirtschaftlicher Betonsanierungen.

Projektierung

Überraschend frühzeitige Unterhalts erfordernisse bei Betonbauwerken, baustoffliches Versagen von Beton und

VON ALBERT ROMER,
BEINWIL AM SEE

dann auch eigentliche Betonschäden können in gewissen Fällen auf ein sachliches Fehlverhalten des Baustoffes mangels Qualität und Beständigkeit zurückgeführt werden. Dann ist dies meistens ein grundsätzlicher, ein einfacher Mangel, verbunden mit Nichtkonformität, oder es handelt sich um einen groben Verarbeitungsfehler, möglicherweise auch um einen Planungsfehler und in Einzelfällen auch ganz einfach um «schlechte Arbeit» im Sinne einer Verletzung der Regel der Baukunst [16]. Eine über Betonkosmetik stehende Betonsanierung – als projektierte bauliche

Leistung im Hochbau meist dem Architekten und im Tiefbau eher dem Ingenieur anvertraut – ist selten einfache Mängelbehebung, ist meistens eine gesamtheitliche Problematik des Bauwerkes, welche den Baugrund, die Konstruktion, die Baustoffe, ferner die Nutz- und Umweltbelastungen umfasst [8] [6] [10] [12]. Ein Sanierungskonzept basiert auf Vorstudien und Gewichtungen der gesamtheitlichen Objektsituation und muss dann die dem Schadeneignis am nächsten stehende Ursache mit Sicherheit abdecken können, muss dabei Wichtiges von weniger Wichtigem unterscheiden, muss zwangsläufig Prioritäten setzen und deshalb auch Risiken abgrenzen und somit verbleibende Restrisiken eingehen. Ursachen, Prioritäten, Leistungen und Risiken werden erkannt und quantitativ gewichtet, entsprechend den verantwortlichen Zusammenhängen der inneren und äusseren Einflussfaktoren der Tabelle 1.

Die betonspezifischen Sanierungsaufgaben bestehen in der Wiederherstellung der äusseren Betonschichten mittels lokaler Betonreparaturen und Armierungsschutz nebst substanzerhaltenden Vergütungen und Schutzmassnahmen, oder auch in der Gesamterneuerung äusserer Betonschichten (vgl. praxisbezogene Gliederung in Tabelle 2). Gesondert und zusätzlich zur Substanzerhaltung Beton zu betrachten sind Oberflächenmassnahmen in Verbindung mit akustischen oder wärmeenergetischen Zusatzaufgaben und beispielsweise vorgehängte Fassaden. Ebenfalls separat, gegebenenfalls von übergeordneter Bedeutung, können Oberflächenmassnahmen sein mit statischer Funktion (z.B. Klebearmierung) oder mit Zusatzanforderungen bezüglich Optik (spezieller Vorsatzbeton) oder bezüglich Rauhigkeit, Abrieb, Verfestigung, Dichtigkeit und ähnlichem.

Flankierende Sanierungsmassnahmen beziehen sich auf Fugen, Anschlüsse, Abdichtungen, Entwässerungen und Drainagen, haben also sehr viel auch mit der Trockenhaltung des Bauwerkes zu tun. Demgemäß ist ihnen entsprechendes Gewicht im Rahmen der Betonsanierung einzuräumen. Massnahmen bezüglich stabilisiertem Baugrund und für die Tragsicherheit von Konstruktionen können durchaus wesentliche Erfordernisse bei Betonsanierungen sein. Mehrheitlich aber sollen Unterhalt und Betonsanierung mit Substanzerhaltung für Beton und Eisenarmierung einer späteren Infragestellung der Tragsicherheit vorbeugen.

In den Praxisbeispielen der Tabelle 2 (A-D) ist die Tragsicherheit der Konstruktion grundsätzlich noch gegeben, oder sie kann wieder hergestellt werden. Bei allen Varianten der Tabelle 2, wo weitgehend noch auf Substanzerhaltung und auf «Sicht» gearbeitet werden kann, sind farbliche und texturelle Angleiche an die alte verbleibende Betonsubstanz anzustreben. Gesamtflächig wird von der alten verbleibenden Betonsubstanz gefordert, dass «sichterhaltende» Imprägnierungen oder Lasuren die Schutzfunktion gegen Alterung und Verwitterung übernehmen können.

Bei allen Varianten der Tabelle 2 mit neuen Oberflächentexturen muss die Schutzfunktion vom schützenden Anstrich, von der Beschichtung gefordert werden. Bei einer Gesamterneuerung der Reprofilierung in geeigneter Qualität und Eigenbeständigkeit kann die Reprofilierschicht erforderliche Schutzfunktionen übernehmen. Bei

Alterungskriterien

- Frost- und Frosttausalzbelastungen
- Karbonatisierung + Betonfeuchtigkeit, Armierungskorrosion
- Chloridkorrosion von Armierungseisen
- Oberflächenabrieb
- Ermüdungsrisse
- Bindemittelauslaugungen
- Unterhaltsmängel, gestörte Strukturen, Risse
- Korrosion von Metallteilen, Aufhängungen/Dübeln/Ankern

Kriterien Baustoffqualität

- Betonmischung und Verarbeitungseinflüsse, Nachbehandlung
- Betonporosität, Feuchtigkeit und Dichtigkeit, Zugfestigkeitsprofile
- Dichtigkeit, Diffusion-Profileigenschaften in äusseren Schichten
- Sorption/Kondensation
- Profileigenschaften in äusseren Schichten
- Zuschlagstoffreaktivität
- Sulfatreaktionen, allgemein chemische Korrosion

Belastungskriterien

- Salze aus atmosphärischen Einflüssen
- Versalzung aus Nutzung und Umwelt
- Verbundbauweise, Abschälrisiken und Grenzflächenprobleme
- mechanische, physikalische Nutzbeanspruchungen
- Zwängungen, Pressungen, Risse, Fugen
- statische und dynamische Belastungen
- hygrische und thermische Belastungen
- Wasserführung, Trockenhaltung, Exposition durch Architektur

Tabelle 1. Innere und äussere Einflussfaktoren.

solcher Qualität haben dann Anstriche und Beschichtungen auf hochbeständige Reprofilermörtel nur noch optische Funktion.

Die Schutzfunktionen der Saniersysteme erfordern Leistungen, welche in erster Linie die Feuchtigkeit im Bauwerk regulieren und dadurch Eisenkorrosion verhindern, und welche zusätzlich Abdichten, beispielsweise gegen Kohlendioxid (Karbonatisierung) gegen Chloridpenetration, gegen Feuchtigkeitsaufnahme und Frostdruck [9][15].

Merkpunkte

Es gilt zu bedenken, dass die Variante A (Tabelle 2) mit präventiven oder frühzeitigen Massnahmen dann sehr vorteilhaft ist, wenn baldige Unterhaltserfordernisse gemäss B-D vermutet werden oder im Anfangsstadium sich anmelden.

Die Varianten A und B sind nicht unbedingt kostengünstigere Sanierungsvarianten als C und D. Zu beachten ist eine konsequente Erhaltung der Schutzfunktion und Dauerhaftigkeit derselben, also kompromissloser Unterhalt der Betonbehandlungen gemäss A oder Betonsanierungen gemäss B. Die Varianten A, besonders aber B und C, können werkstofftechnologisch anspruchsvoller und ausführungstechnisch schwieriger sein, aufwendiger und risikoreicher als Variantenausführungen D. Der Unterhalt bei den Varianten A, B oder C kann wesentlich aufwendiger sein als bei D.

Die Variante D erhält dann den Vorteil, wenn mit möglichst wenig Unterhaltsfolgen (und wenn nur ungern neuzeitliche Technologie mit Bauchemie zum Einsatz gelangt), also mit Vorliebe konventionell gearbeitet werden soll. Aber die Varianten A, B und C sollen oder können, frühzeitig geplant und richtig eingesetzt, vor allem die Situation D verhindern, was insbesondere dann sehr wichtig wird, wenn D aus konstruktiven und auch aus architektonischen Gründen sowie wegen Folgekosten (Betriebsunterbruch, Verkehrsunterbruch, Fensterleibungen) nie eintreten sollte. Beispielsweise können Brückenuntersichten, Unterzüge, nicht immer bis zu den Zugeisen freigespitzt und reprofiliert werden; oder eine Hochbaufassade kann beispielsweise nicht in jedem Fall gesamtflächlich reprofiliert werden.

Bei allen Sanierungsvarianten sind folgende Überlegungen stark mitentscheidend:

- die Tragsicherheit
- die Zugänglichkeit

Vergütung und Schutz neuer Betonbauwerke

- A. Präventiver Schutz vor Alterungseinflüssen und vor frühzeitiger Substanzabwitterung
 - Oberflächenreinigung
 - Oberflächenvergütung oder Oberflächenschutz mit Imprägnierungen, Lasuren, auch Anstrichen, Beschichtungen, Mörtel und Putz

Unterhalt bestehender Betonbauwerke und Betonsanierung

- B1. Substanzerhaltung Originalprofile und Originaloberflächen
 - flankierende Massnahmen Trockenhaltung
 - wenig lokale Reparaturen
 - Oberflächenvergütung mit Imprägnierungen, Lasuren
- B2. Substanzerhaltung Originalprofile, global neue Oberflächenstrukturen
 - flankierende Massnahmen Trockenhaltung
 - wenig lokale Reparaturen
 - Oberflächenschutz mit Anstrichen, Beschichtungen bis Mörtel, Putz, Beton
- C1. Erhebliche Erneuerung Profile mit Angleich Originaloberflächen
 - flankierende Massnahmen Trockenhaltung
 - grössere Reprofilierungen und Armierungskorrosionsschutz
 - Oberflächenvergütung mit Imprägnierungen, Lasuren.
 - Reprofilermörtel mit optischem Angleich sind sehr aufwendig!
- C2. Erhebliche Erneuerung Profile, global neue Oberflächenstrukturen
 - flankierende Massnahmen Trockenhaltung
 - grössere Reprofilierungen und Armierungskorrosionsschutz
 - Oberflächenschutz mit Anstrichen, Beschichtungen bis Mörtel, Putz, Beton
- D. Gesamterneuerung Profile und global neue Oberflächenstrukturen
 - flankierende Massnahmen Trockenhaltung
 - Gesamtabtrag, Armierungskorrosionsschutz, Armierungserneuerung
 - Gesamterneuerung Armierungsüberdeckung zu alten oder neuen Profilen global
 - Oberflächenschutz nicht zwingend, je nach Qualität und Schutzfunktion der Reprofilermörtel!
- E. Abbruch bestehender Betonbauwerke
 - Partielle oder gesamthafte Bauwerkerneuerung

Tabelle 2. Schadensituation und Praxis Betonsanierung

- die Unterhaltsintervalle mit allen Folgekosten
- die Massstäbe der Werterhaltung, Werterhöhung
- die Verantwortung und die Risiken
- die Abstufung Minimalmassnahmen und Maximalmassnahmen
- die Aspekte Nutzungsdauer, Nutzungsänderung.



Bild 1. Verwitterungsschäden im Hochbau

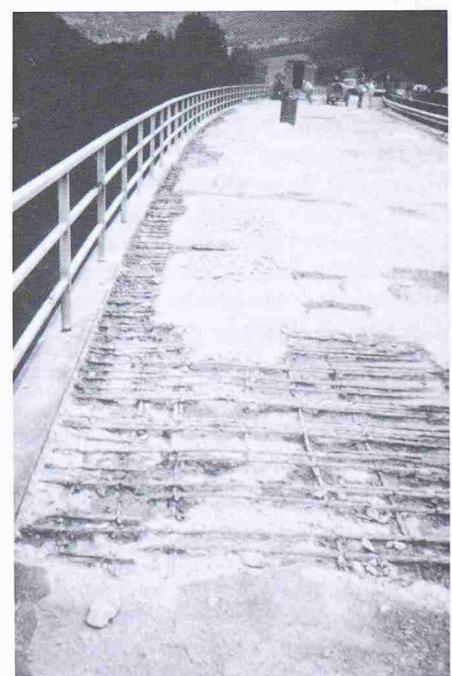


Bild 2. Verwitterungsschäden im Tiefbau

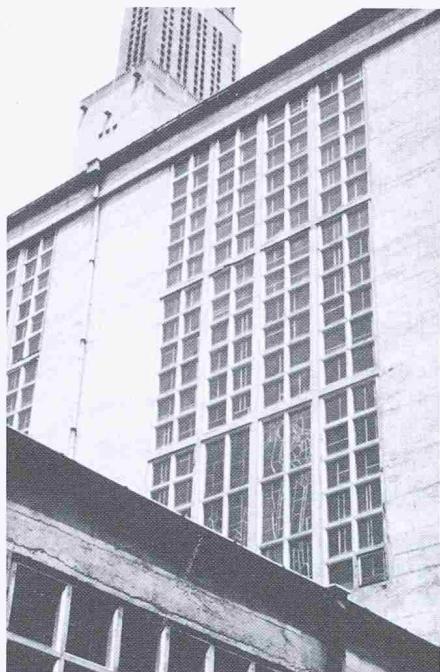


Bild 3. Hochbau: Karbonatisierung und Korrosionssprengschäden

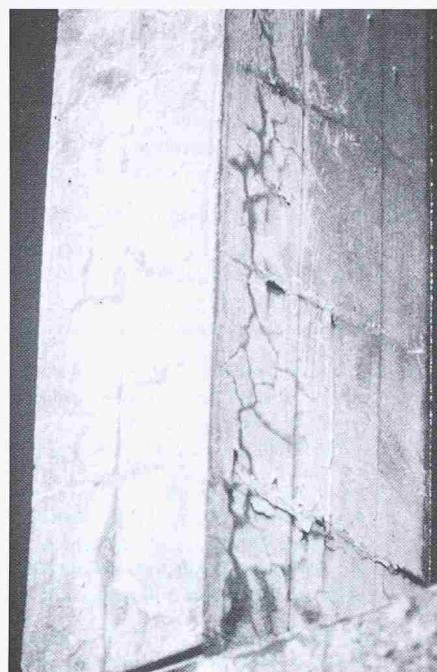


Bild 4. Hochbau: Risse

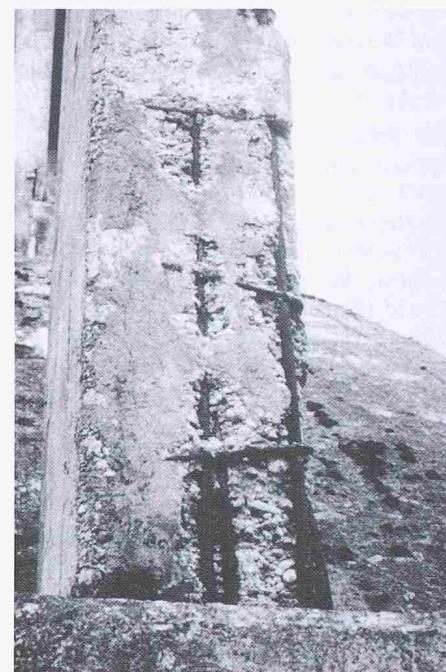


Bild 5. Tiefbau, Karbonatisierung: Korrosionssprengschäden

Prioritäten - Zielsetzungen

Eine optimale Abstimmung der Eignung, der Schutzfunktionen von Sanierungsmassnahmen, und damit eine Zielsetzung für Dauerhaftigkeit des sanierten Betons mit entsprechendem SOLL-Zustand im Rahmen der geplanten Unterhaltsintervalle, steht an vorderster Stelle für Verantwortung, Wirtschaftlichkeit und für die Bauwerkerhaltung.

Dauerhaftigkeit meint Gebrauchsfähigkeit der sanierten Bausubstanz bei möglichst wirtschaftlichem Unterhalt. Richtwerte der Dauerhaftigkeit für Betonsanierungen sind: Kategorien 10-20 Jahre, 20-30 Jahre und 30 – über 60 Jahre. Als allgemein gültiger Richtwert für die Dauerhaftigkeit und Gebrauchsfähigkeit von Betonneubauten gilt 60-100 Jahre, je nach Auslegung und Quelle. Die Saniersysteme selbst und der sanierte Beton müssen eine kontrollierte Alterung über die gewählte Zeitspanne sicherstellen. Dazu erforderlich ist eine entsprechende Dauerhaftigkeit und Eigenbeständigkeit der Sanierungsmassnahmen und der Sanierungsmaterialien selbst, und damit ist auch die Erhaltung der erforderlichen Schutzfunktionen über diese Zeitspanne gemeint. Unterhaltserfordernisse, wie z.B. partielle Erneuerung eines Schutzanstriches auf einer Reprofilierung, sind nur dann kalkulierbar und minimal, wenn alle verwendeten Sanierungssysteme und Schichten über dieselbe Zeitspanne ihre Funktion für Dauerhaftigkeit und Beständigkeit erbringen.

Die aus dem IST-Zustand bekannten Risiken und die verbleibenden Restrisiken sind richtig einzustufen und nehmen deshalb nicht unkontrolliert im Laufe der Zeit überhand und können dem Sanierungsziel, also dem SOLL-Zustand, auch nicht frühzeitig ein Ende setzen. Die erforderlichen Eigenschaften bezüglich Schutzfunktion und Dauerhaftigkeit im Zusammenwirken der Saniersysteme mit dem Beton sind in den Dauerhaftigkeits-Kategorien grundsätzlich nicht anders, sie sind nur durch engere oder weitere Toleranzen und Grenzwerte gekennzeichnet ([9], [11] und [15]).

Die vorbestimmende Verantwortung für einen Sanierungserfolg liegt in Projektentscheiden, wie etwa dem Festlegen der Priorität, wie und mit welchen Mitteln gegen was saniert werden soll, und im Entscheid, welche Risiken abgedeckt und welche Restrisiken belassen werden können.

Die boomartige Sanierungswelle der letzten Jahre hat eine Pendelbewegung ausgelöst. Eine bis noch vor kurzer Zeit festzustellende Verschlossenheit gegenüber Betonunterhalt und Betonsanierung wurde neuerdings durch eine Aktualisierung der Thematik abgelöst und führte zu Höhenflügen in Richtung anonymer High-Tech-Systeme und Spezialistentum, ja, es zeichneten sich sogar Tendenzen ab, wonach die Kompetenz von Architekten und Ingenieuren für Unterhalts- und Sanierungsbelange in Frage gestellt wird. Die Problemkette Betonqualität/Betonschutz/Betonschäden/Betonsanierung ist durchaus

ernst, und wir alle wissen, dass die Alterung unserer Betonbauwerke im Hoch- und im Tiefbau oft – gar zu oft – anders verläuft, als dies Betontechnik, Normen und auch Konformität erwarten lassen. Selbst mittlerweile aktualisierte Normen und Merkblätter vermögen allein nicht, die Schäden zu verhindern; oft handelt es sich um nicht einmal genügend gesicherte Richtlinien oder Hinweise, und in jedem Fall ist eine professionelle Handhabung gefordert. Ein kaum mehr überschaubares Angebot von Sanierungssystemen hat eine Eigendynamik entwickelt und produziert immer wieder Neuerungen, vergleicht und konkurrenziert sich gegenseitig bei meistens nicht vergleichbaren Leistungen und ungenügender Transparenz. Werbung muss gewinnen, Werbung muss deshalb überbieten – wo bleibt die Transparenz? Kontraproduktiv ist all das Geheimnisvolle um Saniersysteme und voreilige Aburteilung ohne objektive Klärung bei Folgeschäden.

Ingenieure und Architekten seien – so die verbreiteten Meinungsäusserungen – durch die Problematik der Sanierungsprojekte, und bei Prioritätsentscheiden für Sanierungen mit realen Risikoeinstufungen, überfordert. Damit wird das Problem der fachlichen Grenzbereiche und des interdisziplinären Vorgehens angesprochen; manchmal handelt es sich auch um das Nichteintretenwollen auf baustoffliche, bauphysikalische Auseinandersetzungen.

Nach wie vor ist Betonsanierung, auch wenn sie sich mit zum Teil komplizier-

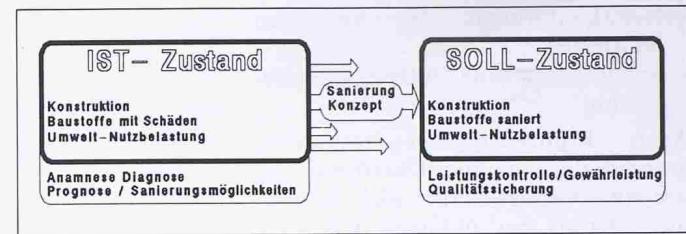


Bild 7.

Bild 6. Tiefbau: Substanzverlust Abwitterung, Frosttausatzschäden

ten Stoffsystemen befasst, in erster Linie eine bauliche Leistung. Auch Betonsanierung folgt den Regeln der Mechanik, der Chemie und der Physik, die dem Ingenieur und Architekten und auch dem verantwortlichen Unternehmer nicht unbekannt sind.

Jedem Projektierenden und Ausführenden neuzeitlicher Betonsanierung stehen Entscheidungsgrundlagen und absichernde Dienstleistungen zur Verfügung, wie dies bei konventionellen Gebieten der Bauakustik, der Wärmeenergie oder der Bauphysik der Fall ist. Projektverantwortung, Leistung und Ausführungsgewähr kann weder bei Neubauten noch bei Bautenschutz und Bausanierung an anonyme Systeme delegiert werden. Verantwortung kann unter Bezugnahme auf Referenzobjekte nur dann übernommen werden, wenn die verglichenen Objekte in den entscheidenden Gegebenheiten, Voraussetzungen und Belastungen wirklich vergleichbar sind.

IST-Zustand

Zur Erhaltung oder Wiederherstellung einer funktionellen Armierungsüberdeckung mit Beton ist grundlegend Folgendes zu erkennen und mit Hilfe der IST-Zustandserhebung auch zu gewichten: das Manko in Qualität, Beständigkeit und Leistung des Betons und so dann die Ursachen, welche im Zusammenwirken von Beton, Konstruktion und Belastungen zu Frühzeitalterung oder zu Betonschäden geführt haben. Daraus ist das Leistungsprofil für die Betonsanierung zu definieren, es sind die entsprechenden SOLL-Werte und der SOLL-Zustand festzulegen. Dies sind Fragen, die der Projektverantwortung zuzuordnen sind [8] [11] [12]. Das effektiv Machbare kann dabei nicht immer identisch sein mit den grundsätzlichen Möglichkeiten oder mit den theoretischen Leistungen der Sanierungs materialien. Das effektiv Machbare

wird durch die Umsetzung der Projektziele für einen realisierbaren SOLL-Zustand festgelegt. Nicht erreichbare und zu hoch gesteckte Ziele können kontraproduktiv werden. Realitätsorientierte Projektierung einerseits und verantwortungsbewusstes Abgrenzen des effektiv Machbaren sind notwendige Voraussetzungen für Erfolg. Bei einem Sanierungsvorhaben gehen der Baustoff sachverständige, der Projektierende und der Ausführende eine Wegstrecke am besten gemeinsam, nämlich bis zum Erkennen der kausalen Zusammenhänge, welche zum Schadenereignis geführt haben.

Was wird bei der Erhebung des IST-Zustandes angetroffen, und was muss bekannt sein? Betonbauwerke zeigen Alterungerscheinungen – vordergründig und visuell erkennbar – beispielsweise mit Rissen wie in Bild 4, Ablösungen und Substanzverlust wie in Bild 6. Solche Verwitterungs-Schadenformen haben nur in Ausnahmefällen eine einzelne Ursache. Weit häufiger stehen wir schon anlässlich der Objektbegehung vor Folgeerscheinungen, resultierend aus einem komplexen Zusammenwirken von Konstruktion/Baustoffen/Nutz-/Umweltbelastungen, möglicherweise auch noch Baugrund einflüssen. Die Erhebung des IST-Zustandes an Be-

tonbauwerken erfordert in jedem Falle die eingehende Überprüfung der grundlegenden Gegebenheiten (vgl. I-III in Tabelle 3, sowie deren Synthese IV, wobei diese aus der Verknüpfung der gegenseitigen Wechselwirkungen von I bis III resultiert). Diese umfassende Erhebung des IST-Zustandes bildet die Grundlage für das Sanierungskonzept.

Grundsätzliches bei Frühzeitschäden

Frühzeitschäden entstehen in den ersten Jahren nach der Erstellung eines Bauwerkes und machen Garantiearbeiten oder etwas später den frühzeitigen Unterhalt erforderlich. Bei Frühzeitschäden steht nicht die eigentliche Betonalterung im Vordergrund, vielmehr sind es Mängel, Einzelaspekte wie Fehler in der Planung, Ausführung, Materialwahl. Beispiele hierzu sind:

- Projektfehler, falscher Forderungskatalog
- ungenügende Leistungsangaben und Forderungen Betonqualität
- Planungsfehler hinsichtlich Konstruktion, Betonqualität oder Verbundschichten
- Ausführungsfehler, Mängel, verletzte Regeln des Bauhandwerkes

- I. Baugrund – Fundationsbewegungen
- welche Konstruktion und Baustoffe überfordern und zerreißen
- II. Konstruktive Spannungen und Bewegungen, Pressungen, Dilatationen
- welche Baustoffe, Verbundschichten überfordern, zerreißen, ablösen
- III. Baustoffe und Oberflächenschichten
- mit ungenügender Qualität und Beständigkeit
- mit Fehlverhalten im Verbund
- mit rasch fortschreitenden Alterungerscheinungen
- IV. Im Zusammenwirken des Baukörpers mit den Baustoffen
- können unter üblichen Belastungen (Konstruktion, Nutzung, Umwelt) fehlerhafte Baustoffe versagen
- oder es liegen Überbeanspruchungen und Überforderungen aus mechanischen, physikalischen und chemischen Überbelastungen vor, welche selbst konforme Baustoffe überfordern und zerstören.

Tabelle 3. Innere, äußere Einflüsse Betonschäden – Ist-Zustand

- Nichtkonformität der verbauten Baustoffe
- unvorhergesehene Nutzung oder Belastung.

Auch Frühzeitschäden resultieren grundsätzlich aus einer Überforderung, wie etwa Versagen eines nicht konformen Betons bei üblichen Umwelt-/Nutzbelastungen und Spannungen aus Konstruktion und Baugrund, oder Beanspruchungsüberforderung, bei der sich selbst eine einwandfreie und konforme Betonqualität fehlerhaft verhalten muss. Solche Frühzeitschäden wurzeln oft in unerkannten Detailproblemen, welche nicht dem Beton als solchem anzulasten sind, sondern lokal an den Betonoberflächen und in den Betonaussenschichten auftreten. Sie bleiben oft unerkannt, weil sie in ihrem lokal begrenzten Auftreten und in ihrer Art weder durch Normen noch durch andere Regelwerke abgedeckt werden und daher zu wenig Beachtung finden. Beispiele hierfür sind:

- Qualitätsgefälle zur Betonoberfläche, Schalungseinflüsse, Fertigereinflüsse, Nachbehandlung
- falsche Luftporeneigenschaften: W/Z, Sandprobleme, Mischzeiten
- Entmischungen beim Einbringen und Verdichten
- Verbundfehler Zementstein/Zuschlag: Verdichtungseinflüsse, Schalungseinflüsse, Viskositätsprobleme
- Undefinierte Betondichtigkeit: Wasser-Chlorid-Kohlendioxid
- ungeeignete Traggrundschichtqualität Beton für Beschichtungen, Putze
- Unbeständigkeit oder Alkalireaktivität von schwierigen Zuschlagstoffen.

Bei Frühzeitschäden ist die objekt- und materialspezifische Voruntersuchung des IST-Zustandes oft zugleich ein Parteien- oder Gerichtsgutachten [13] [14]. Was in Parteien- oder Gerichtsgutachten in Anlehnung an die SIA-Dokumentation D 016 umfassend, statistisch gesichert und konsequent analysiert werden muss, kann für eine gezielte Voruntersuchungen bereits als Sanierungsgrundlage zur Anwendung kommen, kann dadurch zeitlich kurzfristig und – in möglichst abgegrenzten Einzelschritten – auch kostengünstig sein.

Kritische Betonsubstanz Traggrundschicht

Inwieweit wird das Alterungsverhalten, und damit auch der Unterhalt, durch eine normkonforme Betonqualität (beispielsweise 30 N/mm² Druckfestigkeit) determiniert – mit anderen Worten, inwieweit ist man mit beispielsweise 30 N/mm² auf der sicheren Seite, gesichert vor Überraschungen in bezug auf Beständigkeit, Alterung, Armierungskorrasion? Die überarbeitete SIA-Norm

162 bietet bezüglich Alterung und Dauerhaftigkeit von Stahlbeton eindeutig mehr als früher. Tatsächlich wird aber die Alterung und Eignung der äussersten Betonschicht zwischen Armierung und Schalung oder einer bearbeiteten Sanierungstraggrundschicht durch die effektiv vorhandenen Betoneigenschaften in dieser Aussenschicht bestimmt. Diese Betoneigenschaften können ganz anders sein als im Kernbeton. Sie können vor allem auch vollständig anders sein als im Standardwürfel der ursprünglichen Betonkontrolle.

Nach derzeitigem betontechnologischem Wissen können – auch ohne in Normen verankert zu sein – doch nachfolgend aufgeführte Punkte als gesichert gelten. Jede Betonaussenschicht oder Betonoberflächenschicht:

- steht bei der Verdichtung und Verarbeitung unter ganz anderen Einflüssen als der tiefer liegende Kernbeton, (vgl. Bild 8)
- wird durch Armierung, Schalung und Oberflächenbearbeitung beeinträchtigt (Bild 9)
- härtet unter anderer Energiebilanz und anderen Temperaturverhältnissen
- wird durch Nachbehandlung, Wasserdurchfluss usw. beeinflusst
- wird durch die Oberflächenbehandlung beansprucht, sowohl bei der Fertigung wie auch bei einer späteren Nachbearbeitung oder Reinigung durch Stocken, Schälen, Strahlen (vgl. Bild 10).

Entspricht eine Betonaussenschicht im Bereich der äussersten 40 mm aufgrund einer Druckfestigkeit von beispielsweise über 30 N/mm² den Anforderungen des übrigen Betons und weist sie noch eine Zugfestigkeit von über 2 N/mm² auf, so sind außer der Druck- und Zugfestigkeit noch ganz andere Betoneigenschaften zusätzlich für die Betonalterung verantwortlich. Es sind dies:

- die Gesamt- und Kapillarporosität, Makroporen
- Lunkernporosität kommunizierender Poren, Porenstörungen (vgl. Bilder 8 und 9).
- Rissporosität, Art/Häufigkeit/Rissöffnung (vgl. Bild 10)
- Sorptionsfeuchte/Kondensation
- Kohlendioxid-Diffusion, Karbonatisierung (vgl. Bild 11) sowie Sulfatierung.
- Dichtigkeit hinsichtlich Chloridpenetration (vgl. Bild 12)
- Verbundqualität Zuschlag/Zementstein (vgl. Bild 9)
- Frost- und Frosttausalzbeständigkeit, Porosität und Zugfestigkeit (vgl. Bild 13).

Je nach Betonrezeptur, W/Z-Verhältnis, Verarbeitung, Schalung und Ober-

flächenbehandlung können die Porosität, die Eigenfeuchtigkeit und die Kohlendioxid-Durchlässigkeit in Betonaussenschichten breite Streubereiche beanspruchen, was eine gegenüber der Betonkonformität völlig überraschende Karbonatisierungsgeschwindigkeit bedeuten kann. Die Einheitsregelung der Norm SIA 162 für den Alterungsschutz – aufgrund einer pauschalisierten Armierungsüberdeckung für praktisch alle Betonarten und Verarbeitungstechniken – kann diesen Abweichungen nicht sicher genug Rechnung tragen und führt deshalb immer wieder zu Überraschungen. Eine Betonüberdeckung kann frosttausalzbeständig und damit dauerhaft ausgerüstet sein, aber die Chloriddichtigkeit ist damit keinesfalls geregelt und bedeutet somit ein latentes Risiko bezüglich Dauerhaftigkeit.

Ein zweites Beispiel will zeigen, wie eine Betonoberschicht nach dem Stocken, Schälen und Strahlen wohl auf Rauigkeit, Sauberkeit und Zugfestigkeit hin kontrolliert werden kann, dann die verbleibenden Poreneigenschaften und die Sorption-Kondensation in der Traggrundschicht, ferner deren Rissporosität sowie die Restversalzung jedoch die entscheidenden Kriterien für eine Verbundbauweise mit darauffolgenden Reprofilierungen bzw. Beschichtungen sind. All dies wird meistens ungenügend abgeklärt und zu wenig berücksichtigt (vgl. Bilder 10, 12 und 13).

Risiko und Erfolg

Bereits beim Betonschutz, mit Sicherheit aber bei jeder Betonsanierung, muss der Material- und Systemwahl Vorrang eingeräumt werden. Vor allem müssen alle Probleme am Objekt eindeutig erkannt und damit auch Restrisiken einkalkuliert werden. Dieser Leitsatz gilt für allgemeine Baukosmetik, gilt für Bautenschutz des Malers und Bauunternehmers genau so wie für ingeniermässige Projekte mit hohen Investitionen und hoher Verantwortung. Undefinierte, anonyme Leistungen und unerkannte Risiken sind weder fachlich noch wirtschaftlich vertretbar. Der Eignungsnachweis eines Sanierungssystems kann durchaus spezielle Eigenschaften ausweisen, muss aber grundsätzlich immer eine Basis von überprüfbaren Mindestanforderungen enthalten. Mindestanforderungen im Eignungsnachweis lassen erkennen, wie sich ein Saniersystem in der baulichen Anwendung grundsätzlich verhält, also in erster Linie, was es zu bieten hat bezüglich Schutzfunktion, dann aber auch bezüglich der Dauerhaftigkeit zur

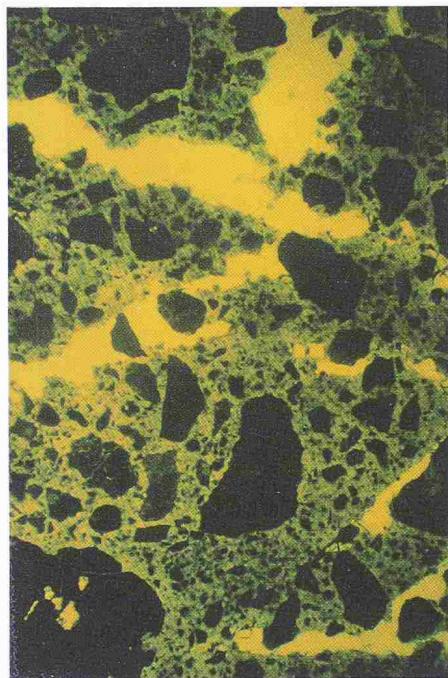


Bild 8. Betonoberfläche, Querschnitt: Lunkernporen mangels Verdichtung im Betongefüge (Gefügeausschnitt Vergr. 100x)

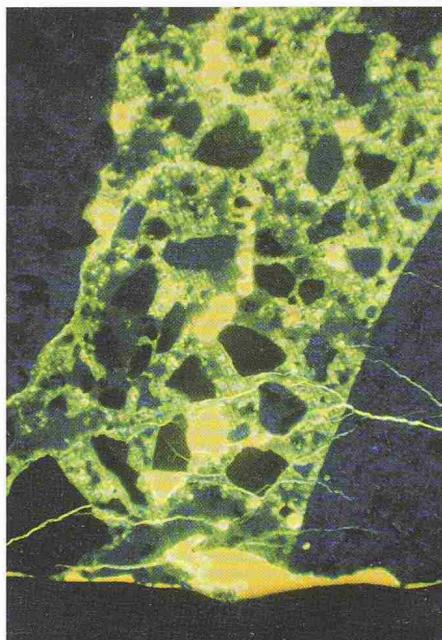


Bild 10. Betonoberfläche, Querschnitt: Risschäden durch Überbeanspruchung; Stocken, Schälen, Strahlen (Gefügeausschnitt Vergr. 100x)

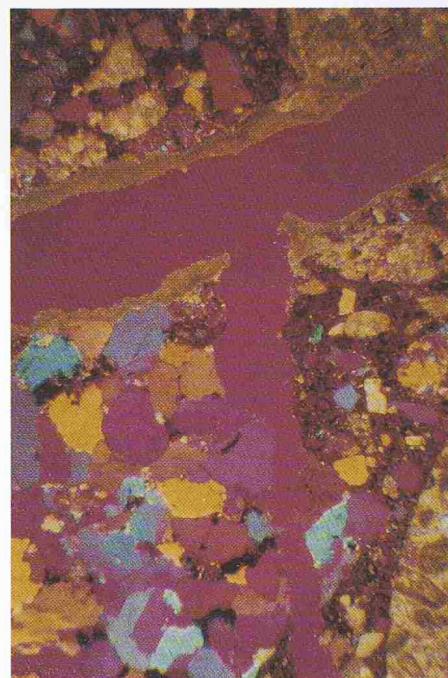


Bild 11. Betonoberschicht, Querschnitt: Schwindrisse im Gefüge können Luftinfiltration von Kohlendioxid, von Feuchtigkeit, von Schadstoffen beschleunigen. Flankenkarbonatisierung Zementstein, beidseits Risse (Betongefüge Vergr. 100x)

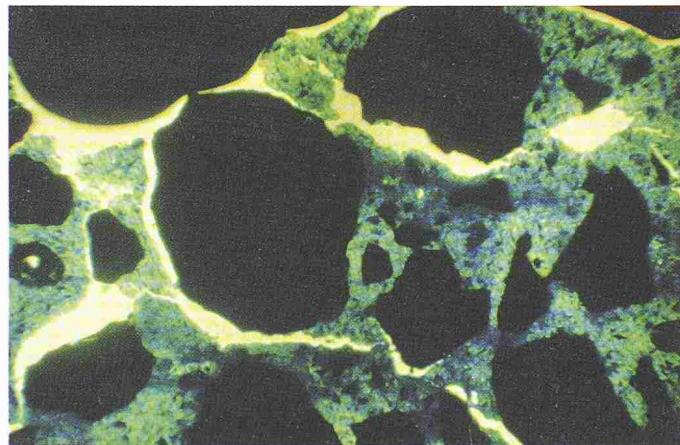


Bild 9. Betonoberfläche, Querschnitt: Setzporen, Hohlräumstörungen, Verbund Zementstein/Zuschlag durch Schalungsverdichtungseinflüsse (Gefügeausschnitt Vergr. 100x)

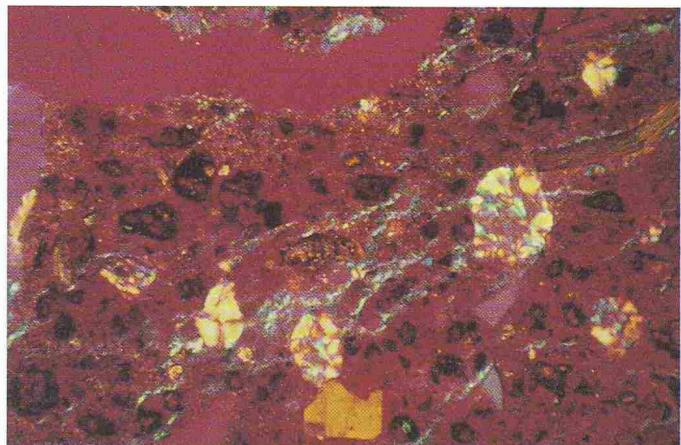


Bild 12. Betonoberfläche, Querschnitt: Mit Salz gefüllte Risse und auch Salzlösungen im Kapillarwasser. Versalzung von Betonoberschichten (Gefügeausschnitt Vergr. 100x)

Erhaltung der Schutzfunktion und letztlich auch in seinen Identitätskennwerten. Aus Platzgründen sei hier lediglich auf die einschlägigen Merkblätter und Richtlinien hingewiesen [11] [15]. Die Dauerhaftigkeitskriterien, wie z.B. UV-Beständigkeit, Alkalibeständigkeit, thermisches und hygrisches Verhalten, Eigenbeständigkeiten usw. werden im allgemeinen am Objekt nicht mehr überprüft, sie werden lediglich durch verbindliche Eignungsnachweise sichergestellt, was auch für die Identitätskennwerte selbst gilt.

Wie bei allen traditionellen Werkstoffen gilt auch bei der Betonsanierung,

dass funktionelle Eigenschaften, welche spezifisch für das Bauwerk gefordert werden, auch als solche gewährleistet werden müssen, also am Bauobjekt zu erreichen sind. Dies erfordert Qualitätskontrollen an Objekt-Musterflächen zwecks Qualitätssicherung hinsichtlich objektspezifisch angepasster Eigenschaften, beispielsweise Porosität, Wärmedehnung, Elastizität, Rissüberbrückung usw., dann aber auch Qualitätssicherung der eigentlichen Schutzfunktionen, insbesondere wenn:

- von den Eignungsprüfungen im Labor abweichende Eigenfeuchtigkeit,

Sorptionsfeuchte, Hygroskopizität vorliegt,

- andere Temperatur- und Feuchtverhältnisse und Windverhältnisse die Applikation und Verfestigung des Systems beeinträchtigen
- die Traggrundsichtqualität sowie die Betonart anders sind als im labormässigen Eignungsnachweis,
- die am Objekt applizierte Mischung, Schichtstärke, Schichtfolge, Nachbehandlung bestimmend sind,
- die Mischart, Mischmengen, Energiebilanzen andere Bedingungen als Labor aufweisen.

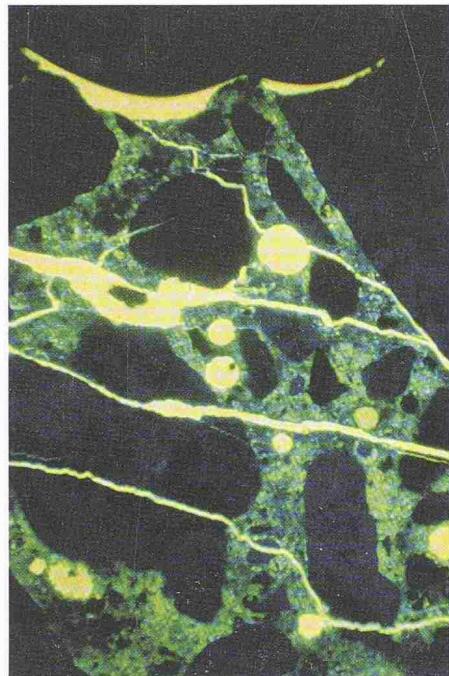


Bild 13. Betonoberfläche, Querschnitt: Risschäden durch Nutzbelastung mit Taumitteln (Gefügeausschnitt Vergr. 100x)

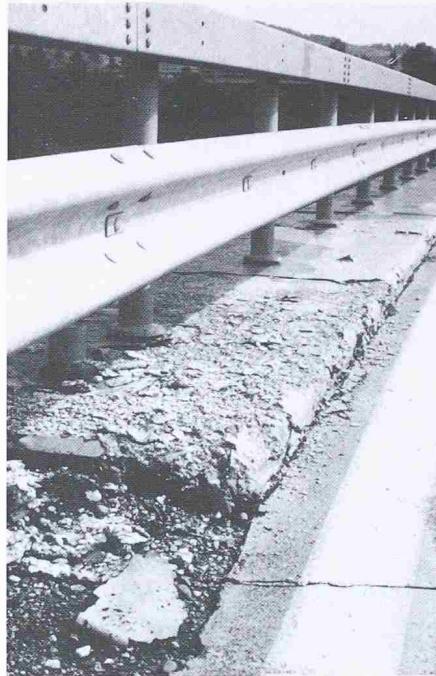


Bild 14. Zu dichter Schutzanstrich auf Betonkonsole. Kondensate darunter erhöhen Frostdruck, zusammen mit eingeschlossenen Chloriden sogar Frosttausalzbelastung. Der Beton wurde bei der Brücke dadurch überfordert

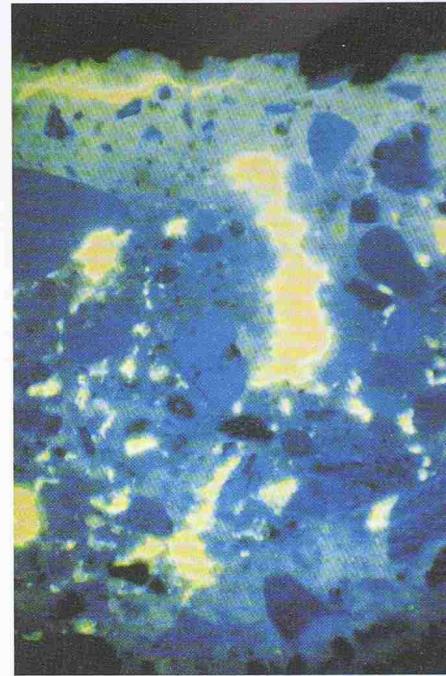


Bild 15. Betonoberfläche, Querschnitt aus Brückenbeton Bild 14. Die erhöhte Kapillarität unter der Beschichtung und Lunkerporen lassen zu hohe Frostdrücke und Ablösungen entstehen. Erforderlich: bessere, tiefere Betonvorbehandlung und Schutzanstrich weniger dampfsperrend (Gefügeausschnitt Vergr. 100x)

Als flankierende Sanierungsmassnahmen werden all diejenigen Arbeiten bezeichnet, welche fehlerhafte Komponenten im Baugrund und in der Konstruktion, in der Isolierung, in der Wasserführung, an Fugen und Anschlüssen beheben oder wenigstens verringern. Flankierende Massnahmen sind selbstredend auch Massnahmen für die Tragsicherheit. Als Betonschutz und Betonsanierung werden die Reparaturen an Beton und Armierung und die Schutzmassnahmen an der Betonsubstanz selbst bezeichnet. Dabei müssen die auf die Betonsubstanz einwirkenden Einflüsse aus der Konstruktion, also Riss- und Fugendilatationen, Diffusion-Sorption-Kondensation und Verformung des Baukörpers, Wärme-Feuchtigkeitsbelastungen, Versalzungen immer vollumfänglich berücksichtigt bleiben. Bei Bautenschutz und Betonsanierung kleinerer Vorhaben basieren die Entscheide bezüglich Objektsituation geeigneter Sanierungsmaterialien und Sanierungsmassnahmen auf individuellen Einschätzungen, auf dem Erfahrungsschatz und dem verfahrenstechnischen Know-how. Fehleinschätzungen, auch schon in Einzelheiten, erhöhen das Risiko. Die Risikobereitschaft kann im Einzelfall weit gehen und wird durch System- und Ausführungsgarantien abgedeckt. Bei kleinen, einfachen Arbeiten muss genügend Gewissheit schon aus wenigen Angaben

bezüglich Objekt und Altbetonqualität abgeleitet werden. Hier hilft nur die Erfahrung, alle baulichen und rechtlichen Aspekte bei entsprechender Risikobereitschaft pauschal abzudecken.

Größere Aufgaben im Bereich des Betonschutzes und der Betonsanierung sind mit den gleichen Anforderungen wie eigentliche Projekte anzugehen.

Als solche beinhalten sie ein ingenieurmäßiges Vorgehen mit entsprechend erkennbaren Schwerpunkten:

- Ingenieurmäßige Abklärung des Gegebenen, des IST-Zustandes in seiner ganzen Verflechtung von Konstruktion-Baustoff-Belastungen.
- Prioritätsentscheide sowohl für flankierende Massnahmen als auch für baustoffliche Massnahmen der Betonsanierung.
- Fordernde Leistungen und SOLL-Werte.
- Ausschreibungen leistungsbezogener SOLL-Werte im Sinne verbindlicher Gewährleistung.
- Risiken für kritische Massnahmen abschätzen, Risiken aus nicht abgedeckten Problemen erkennen (Vorbehalte).
- Qualitätssicherung und Abnahme durch angemessene Bauleitung.
- Baurechtliche und juristische Belange für definierte Material- und Ausführungsgewähr wie bei traditioneller Projektverantwortung.

- Kompetente Projektierungs-Leistungen unter Einsatz bautechnischen und werkstofftechnologischen Fachwissens wie bei üblicher ingenieurmäßiger Bauweise.

Gesamtheitliche Betonsanierung kann recht komplex sein. Demgegenüber gibt es immer wieder auch Praxisfälle, wo erschwerende Verflechtungen nicht zutreffen müssen und wo sich letztlich das Ganze auf einen recht einfachen Nenner bringen lässt. Es mag durchaus erleichternd sein, wenn komplizierende Voraussetzungen als unbedenklich oder als nicht gegeben abgehakt werden können. Allein entscheidend ist jedoch eine richtige Beurteilung und nicht einfach ein Abhaken auf Risiko!

Praxisfehler

Jahrzehntelange Erfahrungen mit in- und ausländischen Sanierungsfällen zeigen, dass Betonalterung und Beton schäden weder vor Normen noch vor Regionen und Ländern Halt machen. Die Problematik wurde rasch international aufgegriffen, worauf Fragen über Sanierungsbedarf, Sanierungsprojektierung und Sanierungspraxis auffallend vereinheitlicht wurden. Gestützt auf praktische Erfahrungen mit Leitsätzen und Regeln der ingenieurmäßigen Sanierung einerseits sowie auf Gutach-

ten über Voruntersuchungen und Folgeschäden andererseits, kann nachstehend in Stichworten auf die häufigsten Fehler im Zusammenhang mit Betonsanierung hingewiesen werden.

Fehler bei der Planungs- und Projektierungphase

- Ungenügende Abklärung der Gegebenheiten und Zusammenhänge zwischen Baugrund, Konstruktion, Baustoffen und Belastungen im IST-Zustand. Beurteilung und Behandlung nur von Einzelaspekten sind die häufigsten Fehler.
- Unbedachte Umnutzung von Objekten.
- Unbestimmte Zielgrößen, unbestimmte SOLL-Leistungen.
- Individualität des Bauwerkes ungenügend berücksichtigt.
- Baukosmetik, welche die eigentlichen Probleme nicht abzudecken vermag.
- Falsche Prioritäten für das bauliche Konzept.
- Nicht-Erkennen der eigentlichen Risiken.
- Ungenügende Information und Absicherung über das Machbare.
- Vorgeschobene Normen und Grenzwerte ohne Bezug zum Zutreffenden.
- Ungenügendes Fachwissen.

Fehler in der Ausführungsphase

- Falsche Objekteinschätzung.
- Unkontrolliertes Vorgehen aufgrund von Einzelaspekten.
- Nicht erkannte objektspezifische Forderungen.
- Ungenügende Qualität der Materialien und ungenügende Systemeignung.
- SOLL-Werte am Objekt nicht überprüft, bzw. nicht erreicht.
- Applikationsprobleme nicht gelöst.
- Zeitdruck und Witterungseinflüsse verdrängt.
- Preisdruck, mangelhafte Vorarbeit und Ausführung.
- Ungenügendes Fachwissen.

Über Folgeschäden und Fehlerquellen bei Betonsanierungen gibt es noch keine detaillierten statistischen Erhebungen, wie sie für Betonneubauten bekannt sind [16]. Der geringste Erfolg bei zugleich höchstem Risiko stellt sich bei der Betonsanierung dann ein, wenn nur auf Einzelaspekte fokussiert wird. Vor einem solchen Vorgehen kann nicht genug gewarnt werden. Ein derartiges Vorgehen bezeichnet der Schreibende nicht als Risiko, sondern als Fehler schlechthin. Die eigentlichen Risiken,



Bild 16. Der mineralische Putz verhinderte über lange Zeit Karbonatisierung des Betons. Durch die Putzdichtigkeit entstand aber ungünstig hohe Betonfeuchtigkeit, was nach Betonkarbonatisierung zu totalen Korrosionssprengschäden führen musste. Detail Fassade Objekt Bild 17 1987 vor der Spritzbeton-Gesamterneuerung Armierungsüberdeckung.

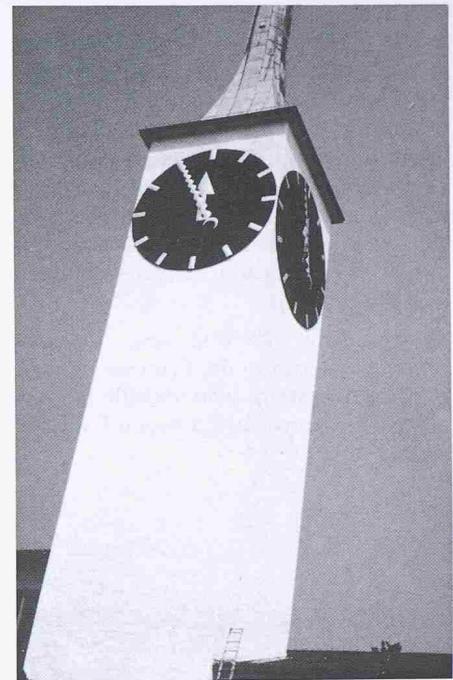


Bild 17. Kirchturm Beton-verputzt vor 50 Jahren. Zustand nach Sanierung mit Spritzbeton in «Putzstruktur» 1987 als Gesamterneuerung Armierungsüberdeckung.

Literatur

- [1] Prof. D. Knöfel, Baustoffkorrosion, Bauverlag Wiesbaden, 1975.
- [2] Prof. F.H. Wittmann, Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, 2. Internationales Kolloquium, Techn. Akademie Esslingen, 1986.
- [3] Prof. H. Klopfer, Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen, Bauverlag Wiesbaden, 1974.
- [4] H. Kühl, Zement-Chemie, Band 111, VEB Verlag Berlin, 1961.
- [5] Prof. F. H. Wittmann, Ist Stahlbeton dauerhaft? Bau-Flash: 11/1987.
- [6] G. Dobrolubov und A. Romer, Richtlinien zur Bestimmung und Prüfung der Frost-Tausalzbeständigkeit von Zementbeton, Strasse und Verkehr: 10+11/1977, Anhang SN 640 461.
- [7] H.U. Aeschlimann, Zustandsanalyse von Betontragwerken aus Sicht der Bauberatung, Strasse und Verkehr: 12/1985.
- [8] M. Ladner, Zustandsuntersuchungen an Massivbauten, SIA Heft 14/1986.
- [9] A. Hächler, Die Bedeutung von Laborprüfungen für QS von Betonbeschichtungen, Bautenschutz und Bausanierung: 5/1985.
- [10] W. Schräml und I. Gebauer, Die Schädigung von Beton durch Frost-Taumitteleinwirkung, Bericht C/A 74 2327/D, Holderbank Management und Beratung AG, CH51 13 Holderbank.
- [11] H. U. Aeschlimann, Schadendiagnose, Grundlage für die Sanierung von bewehrten Betontragwerken, SIA Heft 37/1985.
- [12] WTA, Empfehlung 100-186: Qualitätsicherung bei Instandsetzungsmassnahmen an Betonbauwerken, WTA-Geschäftsstelle, D-8192 Geretsried 1.
- [13] WTA, Empfehlung 1002-S6: Durchführung einer Schadendiagnose an Betonbauwerken, WTA-Geschäftsstelle, D-8192 Geretsried 1.
- [14] WTA-SIA, Merkblatt 85.101: Unterhalt von Betonbauwerken, Vorbeugender Schutz und Instandsetzung, Ausgabe 1985, WTA-Geschäftsstelle, D-8192 Geretsried 1.
- [15] LPM Richtlinien: IST-Zustand Programme BE IV, V, XX; SOLL-Zustand Programme BE VI, Baustoffprüfinstitut LPM AG, CH-5712 Beinwil a/See.
- [16] SIA-Richtlinie 155: Richtlinie für die Ausarbeitung von Gutachten, Ausgabe 1977.
- [17] SIA-Dokumentation D 016: Die Tätigkeit als Experte. Ausgabe 1987.
- [18] LPM Richtlinie: Sanierungssysteme Mindestanforderungen, Eignungsnachweise-Programme SN, Baustoffprüfinstitut LPM AG, CH-5712 Beinwil a/See.
- [19] Forum Mängel und Qualität im Bauwesen, ETH-Z: Problematik und Bedeutung der Mängel im Bauwesen, Baufachverlag Zürich, 1981.
- [20] Verband Berliner Wohnbaugenossenschaften: Betonkorrosion im Hochbau, Analyse, Bedeutung; Bauverlag Wiesbaden, 1986.
- [21] SIA-Norm 162, SIA-Norm 162/1: Betonbauten / Materialprüfung. Ausgabe 1989, in Vorbereitung.

die es zu kalkulieren gilt, resultieren aus der Gesamtbeurteilung mit Analyse aller Einzelaspekte und daraus der Festlegung der Erfordernisse mit Prioritäten und objektspezifischen Leistungen. Jedes Saniersystem muss deshalb ein Leistungsprofil ausweisen können, weil es ja nur über diesen Leistungs-nachweis in ein Ingenieurprojekt integrierbar wird. Folgende Beispiele mögen dies illustrieren:

Fehlerbeispiel Tiefbau und Verkehr: Eindeutig falsch ist die Priorität gesetzt, wenn ein System zwar exzellente Abdichtungseigenschaften gegen Chlorid-

penetration und Wasser aufweist, dies aber nur bei einer Diffusionsrate, welche dem darunterliegenden Beton schlecht bekommt. Es ist dies ein veranschaulichendes Beispiel, wie wichtig es ist, die objekt- und betonspezifischen Erfordernisse aufeinander abzustimmen, hier also die zumutbaren Kondensaten und resultierenden Frostdrücke unter einer relativ dichten Beschichtung zu erkennen.

Fehlerbeispiel Hochbau: Ein Putz auf einer Betonkonstruktion an einem Kirchturm kann über lange Zeit mit seiner Eigenschaft als Putz- und Ver-

schleisschicht optimale Schutzwirkung auch vor Betonkarbonatisierung darstellen. Er kann aber auch infolge seiner zu hohen Dichtigkeit zu einer Feuchtigkeitsaufschaukelung im Beton beitragen, was dann bei dennoch nachfolgender Betonkarbonatisierung zu idealen Bedingungen für eine sehr starke Armierungskorrosion mit plötzlichen Abplatzschäden führen kann.

Adresse des Verfassers: A. Romer, Gutachter, Baustoffexperte LPM AG, Baustoffprüfinstitut, Tannenweg 1066, 5712 Beinwil a/See.

Wettbewerbe

Kultur- und Kongresszentrum am See, Luzern

Die Stadt Luzern, vertreten durch die Projektorganisation Kulturrumbau Luzern, veranstaltete einen öffentlichen Wettbewerb in zwei Stufen für ein neues Kulturzentrum am See. *Teilnahmeberechtigt* waren alle Architekten, die seit mindestens dem 1. Januar 1987 in der Schweiz ihren Wohn- oder Geschäftssitz haben. Zusätzlich wurden die folgenden elf Architekten zur Teilnahme eingeladen: Suzanna und Dimitris Antonakis, Athen; Helmut Braun+Martin Schlockermann und Partner, Frankfurt a.M.; Peter Busmann+Gottfried Haberer, Köln; Hermann Hertzberger, Amsterdam; Wilhelm Holzbauer, Wien; Rafael Moneo, Cambridge (USA); Jean Nouvel+Emmanuel Cattani+Assoc., Paris; Martin Staub, Cannes;

Bernhard Tschumi, New York; P.G. Vermeulen+D. Van Mourik, Den Haag; Otto Weitling, Kopenhagen.

Es waren Vorschläge zu erarbeiten, die die vielfältigen städtebaulichen, verkehrstechnischen, betrieblichen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte zu einem Gesamtkonzept «Kulturzentrum am See» an einer für Luzern exponierten Lage am Europaplatz vereinigen sollte.

Für die erste Stufe wurden 67 Projekte eingereicht. Ein Projekt wurde wegen mangelhafter Unterlagen von der Beurteilung ausgeschlossen. Neun Projekte wurden für die zweite Stufe ausgewählt. Zwei Entwürfe zur zweiten Stufe mussten wegen schwerwiegender Verstöße gegen Programmbestimmungen von der Preiserteilung ausgeschlossen werden.

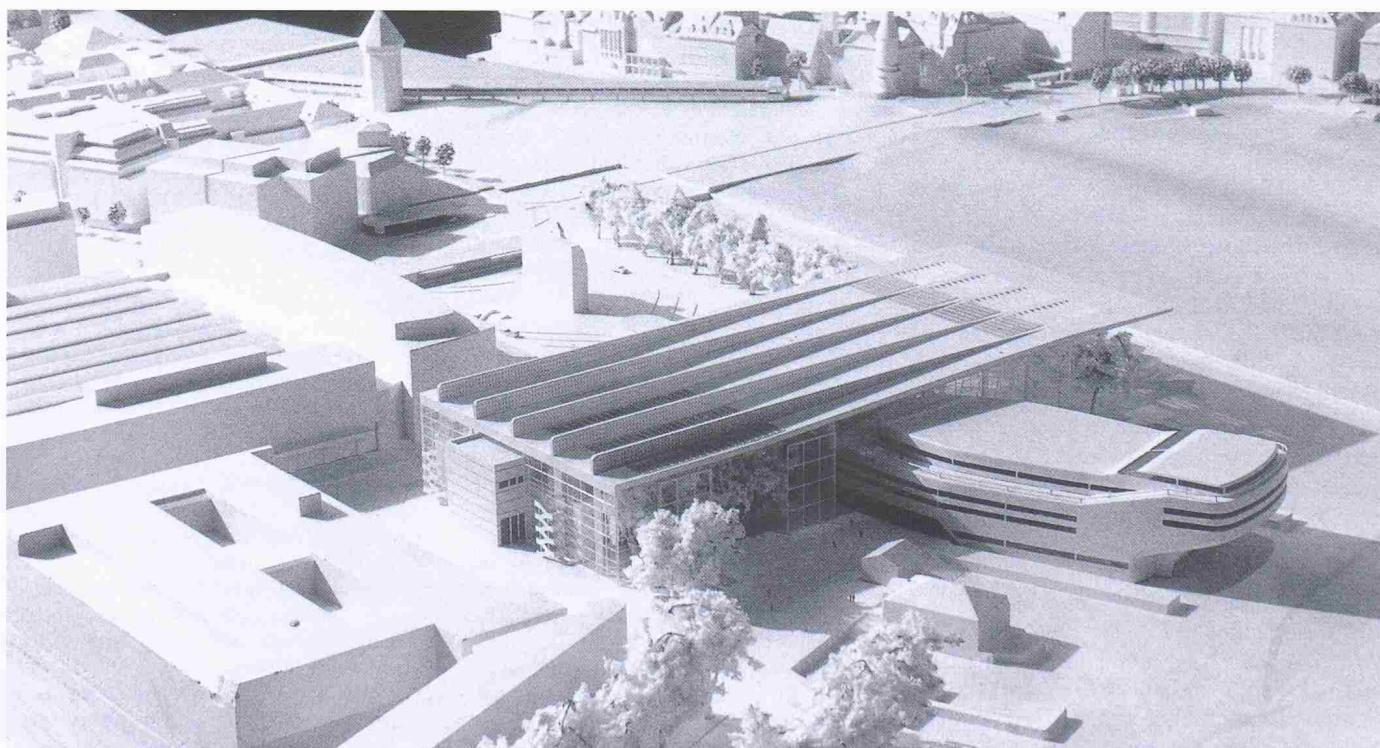
Ergebnis nach der zweiten Stufe:

1. Rang, 1. Ankauf (43 000 Fr.): Jean Nouvel et Emmanuel Cattani et Associés, Paris; Mitarbeiter: Frédérique Monjamel, Catherine Dormoy, Roland Pellerin, Richard Wesley, Julie Parmentier; Bühnenbildner: Jacques le Marquet; Akustik: Peutz et Associés; Bauingenieur: Oth, Bâtiment; Ökologie: Alain Cousseran; Sicherheit: Casso Gausin et cie.; Perspektive: Vincent Lafont

2. Rang, 2. Ankauf (32 000 Fr.): Rafael Moneo, Cambridge (USA)

3. Rang, 1. Preis (20 000 Fr.): Rodolphe Lüscher, Lausanne; Mitarbeiter: Pascal Schmidt und Marianne Fischer mit Sergio Caverio, Natacha Charlton-White, Denis Desilets, Harry Hirsch, Silvia Huber, André Lüscher, Stefan Michel, Stefan Mischler; beigezogene Fachleute: Prof. Derek Sugden, Ingenieur, Arup Acoustics, London

Fortsetzung Seite 645



Kultur- und Kongresszentrum Luzern. 1. Rang, 1. Ankauf (43 000 Fr.): Jean Nouvel et Emmanuel Cattani, Paris