



Bild: Mapei Suisse SA

Die Fassade der Primarschule Nosedo in Massagno TI wurde mittels Betoninstandsetzung optisch aufgefrischt und instandgesetzt.

Betoninstandsetzung

Mehr als optische Aufwertung

Das Alter, zunehmende Umwelteinflüsse und eine oft nicht fachgerechte Bauausführung setzen Bauwerken aus Beton zu. Die Sanierung erfordert Kenntnisse und Erfahrung, um ästhetisch anspruchsvolle, vor allem aber dauerhafte Lösungen zu garantieren.

Von *Claudia Bertoldi*

Bauen mit Beton ermöglicht eine Vielfalt an Formen und Verwendungsarten. Ob Hochhaus, Brücke, Tunnel oder Hafenanlage, ohne den Baustoff ist modernes Bauen kaum ausführbar. Seine Flexibilität in Kombination mit Stahl ermöglicht unter anderem extrem schlanke, hohe und auskragende Bauten und erlaubt zugleich eine relativ freie Gestaltung der Raumeinteilung. Die Vorfertigung der Betonelemente ermöglicht kurze und kalkulierbare Bauzeiten. Beton verfügt zudem über eine gute Beständigkeit gegen Wassereinwirkungen, Hitze, Kälte und Wind.

Doch trotz der guten Betoneigenschaften treten an vielen Bauten Schäden auf. Diese entstehen nicht nur aufgrund des Alters, sondern können unter anderem auch durch einen Brand oder die Einwirkung chemischer Substanzen

verursacht werden. Bei ersten Anzeichen eines Schadens muss möglichst zeitnah gehandelt werden. Dabei reicht eine visuelle, also kosmetische Behebung der sichtbaren Schäden keineswegs aus, da dadurch zwar kurzzeitig die Optik verbessert, aber die eigentlichen Ursachen nicht behoben werden. Für eine fachgerechte und dauerhafte Betoninstandsetzung sind in Abhängigkeit vom Ausmass und den Ursachen ein objektbezogenes Sanierungskonzept und dementsprechend definierte Arbeitsverfahren notwendig.

Universell einsetzbar

Dem Thema Wiederherstellung widmeten sich die Spezialisten beim Betoninstandsetzungstag 2017 in Wildegg. Die dabei zur Anwendung kommenden Instandsetzungsmörtel ermöglichen verschie-

dene Techniken, wie das Reprofilieren, eine Spritzapplikation oder eine Oberflächenstrukturierung und sind deshalb für verschiedene Aufgaben und Projekte geeignet. Die Arbeiten dürfen laut EN 1504-3 : 2005-12 (SIA 262.403) – Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – ausschliesslich mit Mörtel der Klasse R4 ausgeführt werden. Diese Kunststoffmörtel sind ein Gemisch von reaktiven Polymerbindemitteln und abgestuften Gesteinskörnungen, das durch eine Reaktion von organischen Stoffen verfestigt.

«Die Erfahrungen aus dem Alltag zeigen, dass die Applikation meist kein Problem darstellen. Oft kommen Fertigprodukte zum Einsatz. Doch bei diesen extra auf die Anforderungen zugeschnittenen Produkten handelt es sich immer

noch um Material, das vorbereitet werden muss», berichtet Cyrill Spirig, Spartenleiter Bausanierung bei der Weiss und Appetito AG, Bern. Dabei könnten bereits erste Fehler bei der Korngrössenwahl auftreten. Die Mörtel sind hydraulisch gebundene Baustoffe. Um eine Rissbildung oder Hohlstellen durch Schwinden zu minimieren und die Untergrundhaftung zu optimieren, ist eine Vorbehandlung notwendig. «Der beste Mörtel kann nicht besser sein als der Untergrund. Die Untergrundvorbereitung macht gut 80 Prozent der Arbeit aus», so der Sanierungsexperte. Mindestens 24 Stunden vor der Applikation muss der Untergrund gewässert werden, damit die Kapillarporen ausreichend gesättigt sind. Alter Beton benötigt oft eine Vorbehandlung von bis zu vier Tagen. Der alte Beton müsse dabei ausreichend wassergesättigt sein. Dadurch wird verhindert, dass er dem frischen Mörtel das Wasser entzieht, was zur Rissbildung führt.

«Das grösste Problem bei der Nachbehandlung der Flickstellen ist nicht wie oft angenommen die Sonne, sondern die Bise. Dabei bindet der Mörtel zu schnell ab und es kommt zur Rissbildung», erklärt Spirig. Dem könne mit dem grossflächigen Abdecken der Flächen entgegen gewirkt werden.

Der Untergrund ist entscheidend

Starke Hitzeeinwirkungen zerstören auch den hochwertigsten Beton. Nach einem Brand zeigt sich oft folgendes Schadensbild: Die obere Schicht der Betondecke oder -wand ist durch die hohen Temperatureinwirkungen zerstört worden und nicht mehr tragfähig. Mittels Hochdruckwasserstrahl muss das zerstörte Material abgetragen werden. Der intakte Beton bleibt dabei erhalten. Gleichzeitig werden eventuelle Schäden an der Bewehrung sichtbar. «Das Verfahren hat einen weiteren Vorteil: Der Untergrund wird dabei erstmals wassergesättigt», erklärt Spirig.

Auch bei diesen Instandsetzungen ist die Vorbereitung des Untergrundes ausschlaggebend für das Ergebnis. Die Flächen müssen bis zur Sättigung der Kapillarporen gewässert werden. Danach kann man den Reprofiliermörtel aufbringen. Einen maschinellen Einsatz empfiehlt Spirig ab einer Fläche von 500 Quadratmetern. Ansonsten sei der händische Auftrag vorzuziehen, nicht zuletzt, weil oft mit Produkten mit vielen Fasern gearbeitet werde. Diese sind von Hand leichter aufzubringen, zudem besteht beim maschinellen Auftrag das Risiko, dass die Rohre verstopfen. Bei Bedarf sollte die Oberfläche nachträglich manuell abgezogen oder nachgebessert werden, um ein optisch akzeptables Ergebnis zu erhalten. Zur Qualitätssicherung sind Haftzugmessungen vorzunehmen.

Aggressive chemische Stoffe zerstören die Zementmatrix an der Betonoberfläche von Abwasserbecken. Aber auch Betonböden in Tiefgaragen werden unter anderem durch Tausalze, Abgase und Öl beschädigt. «Durch aggressive Stoffe im biologischen Abbaubereich wird die Oberfläche im Wasserwechselbereich angegriffen. Bei der Sanierung der Abwasserreinigungsanlage muss zunächst die Zementmatrix der Betonwände vollständig abgetragen werden.», erläutert Cyrill Spirig.

Die Armierung darunter befände sich meistens in einem gutem Zustand. Mit sehr feinem



«Der beste Mörtel kann nicht besser sein als der Untergrund. Dessen Vorbereitung macht gut 80 Prozent der Arbeit aus.»

Cyrill Spirig, Bauingenieur HTL, Spartenleiter Bausanierung, Weiss und Appetito AG, Bern

Mörtel, einer ECC-Spachtelmasse (Epoxy-Cement-Concrete), werden zunächst Unebenheiten beseitigt und die Poren und Lunkern verschlossen. Danach kann mit der Wiederherstellung der Deckschicht begonnen werden. Nach der ganzflächigen Reprofilierung und Beschichtung mit ECC-Spachtel werden die Hohlkehlen mit Reprofiliermörtel ausgebildet und anschliessend ebenfalls mit ECC-Spachtel beschichtet. Dieser verhindert nicht nur das Aufweichen des Betons, sondern erhöht auch die Zugfestigkeit.

Heikle Flickstellen im Sichtbeton

Bereits die Herstellung von Sichtbetonflächen erfordert Erfahrung und Können. Minimale Abweichungen in der Rezeptur und Temperatur des Frischbetons können das farbliche Aussehen be-

einträchtigen. Unregelmässiges Verdichten und Nässestau hinter der Schalung führen zu Lunkern und Ausblühungen. Zudem verursacht eine nicht gleichmässige Schalung eine unregelmässige, meist unschöne Fassadenansicht. Um Schäden fachgerecht zu beheben, muss ein Experte ans Werk. Nach der Reprofilierung der Betonflächen und dem damit verbundenen Freilegen und Entrosten der Armierung werden die Poren und Lunkern durch Spachtelmasse geschlossen.

Nach der Instandsetzung der Schadstellen ist die Struktur der sichtbaren Fläche wiederherzustellen. Dies wird häufig zur schwierigsten Teilaufgabe. «Die Nachbehandlung erweist sich oft als sehr kritisch. Mit Tafeln, Brettern und Hammer oder auch durch das Aufkleben von Klebeband wird die Struktur wiederhergestellt. Das Abdecken der Flächen, die fast hermetisch abgedichtet sein sollten, ermöglicht, dass diese ungestört abtrocknen können», erklärt Spirig. Grosser Wert zu legen sei vor allem auf eine möglichst einheitliche Struktur der sichtbaren Flächen. Nicht nur die Oberflächenstruktur ist wiederherzustellen, auch die Farbe muss angepasst werden. Hier treten oft Probleme auf, denn Mörtel und Beton reagieren unter anderem unterschiedlich auf die Einflüsse von Nebel oder Regen. Eine farbliche Anpassung kann durch Retuschieren erreicht werden. Dies sei vor allem bei öffentlichen Bauten wichtig, als Beispiele führte er die Schule Freudenberg in Zürich-Enge, die Markthalle Burgdorf und das Goetheanum in Dornach/Arlesheim an.

Gute Nachbehandlung ohne Risse

«Rissvermeidung in Mörtelapplikationen bei der Instandsetzung? Es ist extrem schwierig, aber möglich», betont Luc Trausch von der Bänziger Partner AG, Zürich. «Auf die richtige Nachbehandlung kommt es an.» Wie komplex das Thema ist, sei seit Jahrzehnten bekannt, insbesondere seit die ersten grossen Sanierungen anstanden.

Um das Betontragwerk hinsichtlich seiner vorgesehenen Funktion und Form sowie seiner Eigenschaften wieder fit zu machen, muss nach der Feststellung der vorliegenden Schädigung eine Schadensbehebung mittels Reprofilierung oder eines Vorbetons gemäss dem Instandsetzungsprinzip 3 der SIA-Norm 269/2 erfolgen. «Oft sieht man bereits kurz nach den Instandsetzungsmaßnahmen wieder eine Schädigung – und das trotz der aufwendigen Reparatur als vorsorgliche Arbeit», berichtet der Bauingenieur. Bei Nachkontrollen werden auch sehr tiefe Risse festgestellt, es besteht dementsprechend Korrosionsgefahr. «In der Anfangsphase geschieht meistens nicht viel, doch selbst bei nichtrostendem Bewehrungsstahl kann es nach längerer Zeit zu Korro-



Bild: Wladyslaw Solka, CC BY-SA 3.0

Grosse Rücksicht auf die Ausführungsdetails musste bei der Betoninstandsetzung des Goetheanums in Dornach/Arlésheim genommen werden. Das Gebäude entstand von 1925 bis 1928 nach Plänen des Esoterikers Rudolf Steiner und gehört zu den bekanntesten monumentalen Sichtbetonbauten der Schweiz.

sion kommen. Der zerstörte Verbund erleichtert das Eintreten von Wasser und Schadstoffen, die Korrosion schreitet wesentlich schneller voran.»

Die für Neubauten anzuwendenden Berechnungen zur Rissbreitenbegrenzung gemäss SIA 262 reiche allerdings für die Instandsetzung nicht aus. Auch mit den in Tabelle 18 empfohlenen Bewehrungsüberdeckungen sei bei der Instandsetzung mit aufgesetztem Beton Vorsicht geboten. Die Ursache liegt in der Wirkung des Verbunds von altem und neuem Beton. Sobald die obere, neuere Schicht sich zusammenziehen beginnt, führt die aufgezwungene Verformung zur Rissbildung oder einem Ablösen der Beschichtung.

Einfluss von Alter und Temperatur

Dieses Versagen des Materialverbunds wurde auch in Laborversuchen nachgewiesen und stand schon im Mittelpunkt von Forschungsprojekten. Das Schwinden des Materials und die Temperatureinwirkungen werden als ausschlaggebende Faktoren genannt. So haben das Austrocknen des Betons, das Alter der Betone, die Hydratation des neuen Betons und das autogene, also innere Schwinden im jungen Alter einen entscheidenden Einfluss. Die Temperaturunterschiede zwischen dem neuen und bestehenden Beton bilden einen massgebenden Faktor für die Rissbildung im Vorbeton. Die optimale Temperatur zur Rissvermeidung ist gemäss Bauingenieur Trausch 15 Grad Celsius.

Zudem seien die Lagerung und das Schichtendickenverhältnis von neuem und altem Beton zentrale Parameter für die Versagensart. Bei einem Schichtverhältnis neuer zu altem Beton von 2 zu 3 könne die schwindinduzierende Wirkung unter Kontrolle gehalten werden. Auch eine Bewehrung im Vorbeton habe einen posi-

Kriterien beeinflusst werden. «Die Rautiefe ist das A und O des Verbundes. Zudem ist bei der Reinigung darauf zu achten, dass keine losen Elemente mehr vorhanden sind», betont Trausch. Das beste Ergebnis sei mit Hochdruckwasserstrahlern, auch in Verbindung mit Sandstrahlen zu erreichen. Wie bereits auch von Cyrill Spirig



«Oft sieht man bereits kurz nach den Instandsetzungsmassnahmen wieder eine Schädigung – und das trotz der aufwendigen Reparatur als vorsorgliche Arbeit.»

Luc Trausch, Bauingenieur ETH Zürich, Mitglied der Geschäftsleitung Bänziger Partner AG, Zürich

tiven Einfluss, könne die Rissbildung reduzieren und somit den Schutz der gesamten Konstruktion beeinflussen. Die Delamination, also die Wahrscheinlichkeit des Ablösens der beiden Betonschichten, nimmt bei zunehmendem Schichtendickenverhältnis zu. Hingegen spielen eine ähnliche Festigkeit und Steifigkeit der Betone eine untergeordnete Rolle.

Um also eine Rissbildung vor allem bei hohen Anforderungen zu vermeiden, müssen bestimmte

angesprochen, müsse zudem auf die Feuchtigkeit des Untergrundes mit einer guten Durchnässung geachtet werden.

Voraussetzung für die Vermeidung von Rissen bei einer Instandsetzung sind aber nach wie vor genaue Kenntnisse des Materials, seiner Eigenschaften und Wirkungsweise, der Möglichkeiten der Einflussnahme auf bestimmte Parameter, der bestehenden Umwelteinflüsse und der fachgerechten Nachbehandlung. «Dennoch gibt es

immer wieder Fälle, bei denen eine Rissbildung nicht zu vermeiden ist», betont Luc Trausch.

Nur wer wagt, der gewinnt

Die Instandsetzung denkmalgeschützter Bauwerke ist nach wie vor ein heikles Unterfangen. «Manchmal besteht Angst zu sanieren, weil der Denkmalschutz zu hohe Auflagen setzt. Zudem kommen die zusätzlichen Hürden von Architektur und Tragwerk», so Bauingenieur Gilbert Santini, Mitglied der Geschäftsleitung der WMM Ingenieure AG, Münchenstein. Bei der Suche nach einer Lösung müssen die Ideen und Ziele der Bauherrschaft, des Planers und der Denkmalschutzbehörde mit dem baulichen Zustand des Gebäudes in Einklang gebracht werden. Einfluss haben Kosten, Aussehen und Tragsicherheit, bei zusätzlichem Denkmalschutz kommt der Bestandsschutz hinzu. Im Idealfall stimmen die Ideen überein, meistens kommt es aber zu einem Kompromiss.

Als Beispiel nennt Santini das Schweizer Papiermuseum in Basel. Das historische Gebäude steht komplett unter Denkmalschutz. Nach dem Umbau sollte es als Zeitzeuge der Papier- und Drucktechnik auch grosse Maschinen beherbergen. Dafür war die historische Holzbalkendecke des teilweise aus dem 13. Jahrhundert stammenden Gebäudes nicht ausreichend belastbar. Für eine öffentliche Nutzung mussten zudem ein Lift und neue Treppen eingebaut sowie die Nutzlast der Decken erhöht werden. Ausserdem war Erdbebensicherheit gefordert.

«Die Denkmalpflege wurde sehr zeitig in die Planung einbezogen. Das ist ein wichtiger Faktor, um später Ärger, Fehler und zusätzliche Arbeit zu vermeiden», so Santini. In diesem Fall führte hauptsächlich die geforderte Erdbebensicherheit zu Spannungen. Mit kleinen Massnahmen war das Gebäude nicht zu ertüchtigen, und grosse hätten gravierenden Änderungen erfordert und massive Konflikte mit Denkmalschutz ausgelöst. Gemeinsam wurde entschieden, auf den Erdbebennachweis zu verzichten. Die Bauherrschaft übernahm dafür die Verantwortung. Die zum Teil bemalten Decken wurden mittels Aufbeton als Holz-Beton-Verbunddecke verstärkt. Die historische Holzdeckenverkleidung konnte so erhalten werden. Zudem wurden Stahlträger eingezogen, die auch grosse punktuelle Lasten ermöglichen wie das Aufstellen einer historischen Druckmaschine.

«Es braucht Mut zu unkonventionellen Lösungen, sei es seitens des Ingenieurs, des Architekten oder des Denkmalschutzes. Und auch der Bauherr braucht Mut, um sich für kostspieligere Lösungen zu entscheiden», sagt Santini. «Doch genau das macht meistens den Erfolg aus.» ■

Seit Jahrtausenden bewährt

Der Baustoff Beton ist keine Erfindung der Neuzeit. Ein Mörtel aus gebranntem Kalk war bereits vor 14 000 Jahren als Bindemittel bekannt. Handwerker im Osten der heutigen Türkei nutzten ihn zum Vermauern der Ziegelsteine. Die Phönizier entwickelten die Technik weiter und über die Griechen gelangte die Technik ins Römische Reich. Hier erlangte sie im 1. Jahrhundert nach Christus ihre Blütezeit. Aus wasserbeständigem Mörtel und Steinbrocken, die in einer Schalung erhärteten, konnten druckfeste Bauteile hergestellt werden. Tempel, Thermen, Aquädukte, Zisternen, Entwässerungs- und Hafenanlagen oder Brücken entstanden auf diese Weise.

Noch nach fast zwei Jahrtausenden sind einige dieser in ganz Europa entstandenen Bauwerke zu bestaunen. Zu den bekanntesten und besterhaltenen zählen das Kolosseum, das teilweise aus Beton erbaut wurde, sowie das Pantheon in Rom. Bis heute besitzt das Pantheon mit einem Durchmesser von 43,3 Metern die grösste nicht verstärkte Zementkuppel der Welt. Möglich machte den Bau der Römische Beton, der sogenannte «Opus caementitium». Er wurde für den Bau der Kuppel sowie die Verfüllung der tragenden Ziegelwände verwendet.

«Opus caementitium» wurde aus Steinen, Sand und gebranntem Kalkstein gemischt. Als Zuschlagstoffe wurden Puzzolane oder Ziegelmehl eingesetzt, die es ermöglichten, dass das Gemisch nach der Zugabe von Wasser zu einem druckfesten Material aushärtete. Das

Material härtet auch unter Wasser aus. Gebrannter Kalk reagiert bei Zugabe von Wasser mit starker Hitzeentwicklung. So konnte das Material geformt, verarbeitet und in Schalungen ausgegossen werden. Die Beimischung von Zuschlagstoffen wie Bimsstein und Ziegelmehl ermöglichte die Reduktion der Masse des antiken Betons bis auf 1,35 Kilogramm je Kubikmeter. Ein Kubikmeter Festbeton wiegt rund 2,5 Kilogramm.

Im Mittelalter geriet der Baustoff in Vergessenheit. Um 1700 wurde er wiederentdeckt. Nachweislich wurden 1804 in Frankreich Betonrohre als Fertigteile hergestellt. 1824 liess der englische Maurer Joseph Aspdin ein dem Zement vergleichbares Produkt patentieren. Es handelte sich um eine feinkörnige Mischung aus Ton und Kalk, die gebrannt wurde. Nur 20 Jahre später brachte der Engländer Isaac Charles Johnson die Mischung aus Ton und Kalk zum Schmelzen. Die daraus hergestellten Steine glichen dem auf der südenglischen Halbinsel Portland vorkommenden Kalkstein. Der heute sogenannte Portland-Zement war erfunden. Ab 1870 fanden Schmuckteile aus Betonwerkstein für Fassaden, Ornamente oder Säulen sowie Dachsteine verbreitet Anwendung. 1902 entstand in Cincinnati, USA mit dem 16-geschossigen «Ingalls Building» das erste Hochhaus der Welt in Eisenbeton-Skelettbauweise. 1903 ging das weltweit erste Transportbetonwerk des Hamburger Bauunternehmers Jürgen Hinrich Magens in Betrieb. (cb)



Die Kuppel des Pantheons mit den zum Opeion schlanker werdenden Kassettenreihen und den zur Lichtöffnung aufsteigenden 28 Stegen wurde als monolithische Schale aus «Opus caementitium» gegossen.

Bild: gemeinfrei