

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 110 (1992)
Heft: 36

Artikel: Sanierung der katholischen Kirche Däniken
Autor: Flury, Klaus / Zimmermann, Martin / Hüssy, Urs
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77952>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

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

wurden früher mit FCKW geschäumt, welches bekanntlich ein hohes Abbaupotential der schützenden Ozonschicht aufweist. Seit dem 1. Juli 1990 werden in der Schweiz unter dem Druck der PTT und des Bundes [3] nur noch Platten vertrieben, die mit HFCKW geschäumt sind. Obwohl dies eine enorme Verbesserung bedeutet, besteht immer noch ein kleines Zerstörungspotential der Ozonschicht durch das HFCKW. Anzustreben ist der vollkommene Verzicht auf jegliches HFCKW, und dies in den nächsten 5 Jahren bei gleichbleibender Materialqualität.

Nutzung, Entsorgung

Während bei der Nutzung das Dach nicht umweltbelastend ist, sieht die Lage bei der Entsorgung bzw. Recyclierung für die meisten Flachdächer etwa gleich schlecht aus: Das Abfallmaterial wird heute grösstenteils in Deponien entsorgt. Heute wird kaum ein Material, das auf das Flachdach verwendet wurde wiederverwertet, obwohl dies z.T. leicht möglich wäre! Der Extruderschaum (XPS-Platten), wie andere Wärmedämmstoffe können bereits heute mit geringem Energieaufwand recycelt werden. Allerdings sollten XPS-Platten bei einem Rückbau, da sie wegen der losen Verlegung nicht zerstört werden müssen, eher an einem geeigneten Ort (Estrichisolation, PLUS-Dach, Kellerisolation etc.) wiederverwendet werden.

Während die Kunststoffindustrie grosse Anstrengungen unternimmt, die an-

fallende Menge Kunststoffbahnen (Dachhaut) wieder zu recyceln, herrscht z.B. bei der Bitumenindustrie «grosstes Schweigen».

Ergebnis: Das Kriterium ist für das UK-Dach knapp, für das DUO- und PLUS-Dach z.T. erfüllt.

Gesamtbewertung

Um eine objektive Beurteilung der genannten Kriterien mit ihren Bedingungen zu erhalten, müssen diese gewichtet, (Tabelle 3) und nach der Methode der Wertanalyse berechnet werden (Tabelle 4). Die Gewichtung ist aus der «Optik» des Autors entstanden und kann von Person zu Person sehr unterschiedlich sein, je nachdem ob es sich um einen Experten, Architekten, Bauherren, Unternehmer oder Lieferanten handelt (Interessenskonflikt). Die Gesamtbewertung mit Gegenüberstellung von verschiedenen Flachdachkonstruktionen (sämtliche mit einer Schutzschicht aus Kies) ist in Tabelle 4 dargestellt. Das PLUS-Dach ist in der Tabelle nicht aufgeführt, da dieses System nur mit anderen Sanierungssystemen verglichen werden kann. Je nachdem welche Kriterien gestrichen werden, ist mit einem anderen Ergebnis zu rechnen. Auch die Beurteilung, ob ein Kriterium «z.T. erfüllt» oder «knapp erfüllt» wird, kann subjektiv sein und dementsprechend Abweichungen bringen.

Aufgrund der Bewertungen und der Bewertungspunkte kann festgestellt wer-

Literatur

- [1] H. Künzel: Neue Untersuchungen und Überlegungen zur Frage des Zuschlages Δk bei Umkehrdächern, Forschungsbericht T 1337, 1984 IRB-Verlag
- [2] G.-W. Mänka/H. Paschen: Wärmebrückenatlas, B.G. Teubner Stuttgart 1986
- [3] Erfa-Info 2/89: Verzicht auf FCKW-haltige Wärmedämmstoffe, AfB, PTT, SBB
- [4] Erfa-Info 2/91, Flachdächer mit geschützter Abdichtung, AfB, PTT, SBB
- [5] J. D. Vital: Das Flachdach aus der Sicht eines PTT-Fachmannes, Dachdeckermeisterverband, Erfa-Tagung Luzern 15./16.2.1990
- [6] Heinz Bangarter: Bemessung des Wärmeschutzes bei Umkehrdächern und ähnlichen Systemen, Bauphysik 13/1991 und SIA Nr. 43, Oktober 1991

den, dass die UK-, DUO- oder PLUS-Dächer vollwertige, funktionstüchtige und für den Bauherren, aufgrund der langen Lebensdauer, finanziell äusserst attraktive Dachsysteme sind.

Adresse des Verfassers: Jon-Duri Vital, Arch. HTL, Bauphysiker SIA, Dennigkofenweg 199, 3072 Ostermündigen.

Der vorliegende Artikel ist leicht gekürzt. Die ungekürzte Fassung kann beim Verfasser bezogen werden.

Sanierung der katholischen Kirche Däniken

Zur Erhaltung der Bausubstanz und Gewährleistung der Sicherheit ist eine Sanierung von schadhafte Bauwerken unerlässlich. Die Komplexität der auftretenden Probleme und die hohen Investitionen fordern Bauherr, Unternehmer und Materiallieferant zu aussergewöhnlichen Leistungen heraus. Das folgende Beispiel einer umfassenden Sanierung dokumentiert die optimale Zusammenarbeit aller beteiligten Fachkräfte.

Die Kirche der römisch-katholischen Kirchengemeinde in Däniken (SO) ist ein typisches Bauwerk der frühen sechziger Jahre. Einzelne Fassadenbereiche des Kirchengebäudes sind mit einem Verputz versehen, der überwiegende Teil des Hauptgebäudes und alle Nebenbauten sowie der Glockenturm sind reine Sichtbetonkonstruktionen mit Brettstruktur.

Zustand und Untersuchung

Betonabplatzungen – hauptsächlich im Bereich des Kirchturmes – korrodie-

VON KLAUS FLURY, AARAU,
MARTIN ZIMMERMANN,
TRIMBACH, URS HÜSSY,
ZÜRICH

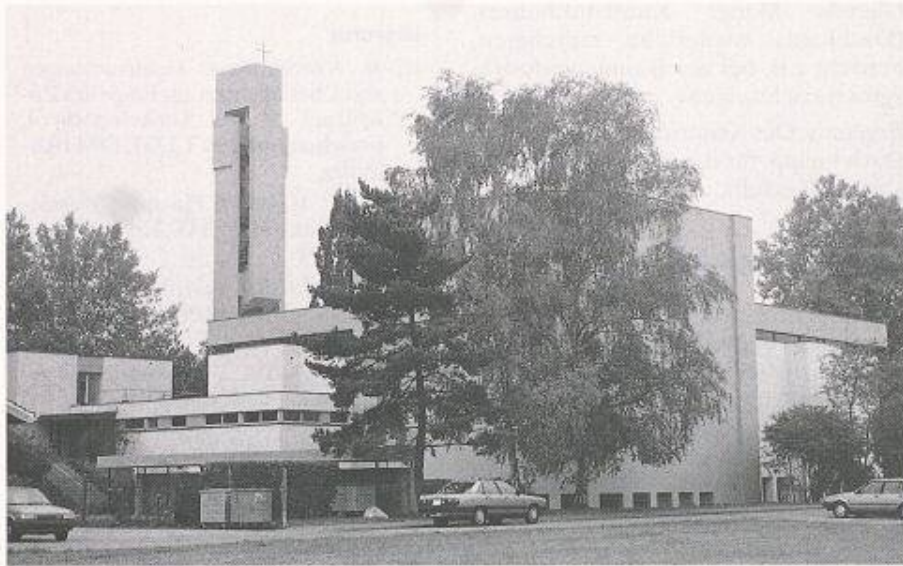
rende Armierungseisen, Rissbildungen, Aussinterungen usw. signalisierten der Kirchengemeinde vorhandene Mängel und Schäden am Bauwerk. Im Wissen um die Problematik und Komplexität von Betonsanierungen wurde von Anfang an die Zusammenarbeit mit ausgewiesenen Fachkräften angestrebt. Folgerichtig der erste Schritt: Erhebung des

Ist-Zustandes. Das Diagnostik-Center-Beton der Sika AG führte vor Ort Aufnahmen und Messungen durch und ergänzte diese mit notwendigen Laborauswertungen. Zuhanden der Bauherrschaft wurde ein Untersuchungsbericht mit Fotodokumentation und Definition notwendiger Sanierungsmassnahmen erstellt.

Durchgeführte Messungen und Prüfungen

Am Objekt

- Visuelle Prüfung und dokumentarische Aufnahme
- Messung der Eisenüberdeckung
- Bestimmung der Carbonatisierungstiefe
- Ermittlung der Abreissfestigkeit
- Bestimmung der Druckfestigkeit mit dem Schmidt-Hammer
- Entnahme von Bohrkernen für Laboruntersuchungen.



Die Kirche Däniken nach der Sanierung

Im Labor

- Betondruckfestigkeiten
- Poren-Sättigungskennwerte
- Wasseraufnahme-Koeffizient
- Mikroskopische Beurteilung des Betongefüges.

Sanierungskonzept und Anforderungen

Die gute Betonqualität (hohe Dichtigkeit und Festigkeiten) hat trotz teilweise mangelhafter Betonüberdeckung eine massive Ausweitung der Korrosionsschäden verhindert. Eine frühzeitige Sanierung soll die vorhandenen Mängel und Schäden eliminieren und die Bausubstanz langfristig erhalten. Basierend auf der Erhebung des Ist-Zu-

standes sind die Anforderungen an das Sanierungskonzept definiert worden:

- Diffusionswiderstand Kohlendioxid $S_{d_{CO_2}} \geq 50 \text{ m}$
- Diffusionswiderstand Wasserdampf $S_{d_{H_2O}} \leq 4 \text{ m}$
- Haftzugfestigkeiten im System $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$
- Frostbeständigkeit nach SIA 162/1 Hoch
- Rissüberbrückung des Anstrichsystems
- Hohe Dauerhaftigkeit des Systems

Es war allen Beteiligten klar, dass die geplanten Sanierungsmassnahmen zu Veränderungen im äusseren Erscheinungsbild des Bauwerkes führen. Eine frühzeitige und umfassende Orientierung der Bauherrschaft zeigte alle Probleme einer Betonsanierung und die Konsequenzen auf.

Bauteil	Eisenüberdeckung (mm)	Mittlere Carbonatisierungstiefe (mm)	Ungeschützte Armierungseisen (%)	Betonqualität	Schadenbilder
Glockenturm	1-40	5	5	gut	örtlich Abplatzungen korr. Armierungseisen, insbes. West- und Südseite
Untersicht Eingang	4-40	10	21	gut	korrodierte Armierungseisen
Fassaden	8-40	4	0	gut	Risse, z.T. ausgebessert
Runder Teil	9-40	4	0	gut	viele Risse, z.T. ausgebessert
Dachbrüstung	2-30	7	18	gut	Abplatzungen, viele korr. Armierungseisen, viele Risse, Kalkaussinterungen

Zusammenfassung des Ist-Zustandes

Ausschreibung

Basis der Ausschreibung bildete die Analyse des Ist-Zustandes. Genaue Kenntnisse des Schadenbildes und ungefähre Erfassung des Ausmasses ermöglichten das Ausarbeiten eines detaillierten Leistungsverzeichnisses.

Die Hauptarbeitsgruppen umfassten:

- Baustelleninstallation
- Gerüstung
- Abdeck- und Schutzmassnahmen
- Untergrundvorbehandlung und Inspektion der Betonoberflächen
- Betonsanierung (Materialabtrag, Korrosionsschutz, Reprofilierung)
- Profilergänzung (vollflächiger Materialauftrag auf 2 Seiten des Glockenturmes)
- Bautenschutz (Flächenspachtel, Schutzbeschichtung)
- Abdichtung (Fugensanierung, Rissinjektionen)
- Qualitätssicherung.

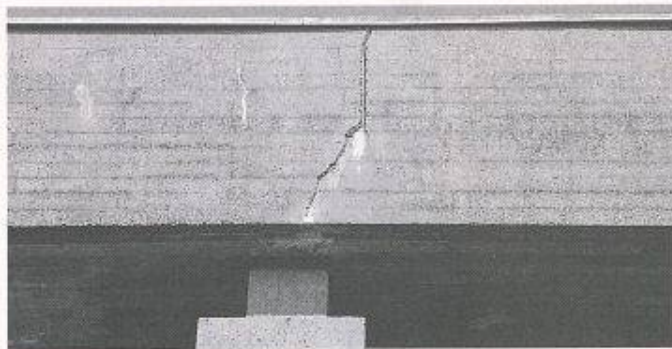
Im Wissen um die Komplexität der Sanierungsarbeiten wurden nur ausgewiesene Spezialfirmen, die über die notwendige Erfahrung und geschultes Fachpersonal verfügen, zur Offertstellung eingeladen. Dies führte, zusammen mit dem detailliert ausgearbeiteten Leistungsverzeichnis, zu relativ geringen Differenzen zwischen dem kostengünstigsten (100%) und dem höchsten Angebot (105%).

Produkte und Systeme

Entscheidend für die Produkte- resp. Systemwahl waren folgende Punkte:

- Erreichen der gestellten technischen Anforderungen an das System
- Systemprüfung des gesamten Aufbaues durch anerkannte Prüfinstitute
- Praxisgerechte Verarbeitbarkeit (einfach, 1-komponentig, maschinell)
- Ästhetik (farbliche Gestaltungsmöglichkeit)
- Ökologische Gesichtspunkte (Transport, Lagerung, Entsorgung)
- Hohes Kosten-/Nutzen-Verhältnis.

Zur Anwendung gelangten das neue 1-Komponenten-Reparatursystem Sika Mono Top und die rissüberbrückende Schutzbeschichtung Sikagard 550 Elastic. Drei wesentliche Merkmale der Sika-Mono-Top-Mörtelgeneration: die Sika-Silicafume-Technologie, neuartige Kunststoffe in Pulverform, spezielle Zuschlagstoffe.



Mangelhafte Betonüberdeckung und Karbonatisierung führten zu Armierungskorrosion und Betonabplatzungen



Messung der Eisenüberdeckung im Rahmen der Zustandsanalyse

Dadurch wird einerseits die Qualität (Festigkeiten, Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit) erhöht und andererseits die Verarbeitbarkeit und die Standfestigkeit entscheidend verbessert. 1-Komponenten-Produkte zeichnen sich auch durch reduzierte Lager- und Transportkosten und minimale Verpackungsentsorgung aus.

Anstrichsysteme haben die Aufgabe, Betonbauwerke möglichst dauerhaft zu schützen. Plastisch-elastische Schutzbeschichtungen haben zudem die Fähigkeit, Risse im Untergrund dauerhaft zu überbrücken. Dies ist jedoch von der Schichtstärke des Materials direkt abhängig. Beeinträchtigt eine Schutzbeschichtung einerseits das Erscheinungsbild eines Betonbauwerkes nachhaltig, so ermöglicht sie andererseits neue Gestaltungselemente durch eine reichhaltige Farbauswahl. An die Beschichtung – sozusagen als neue Haut des Bauwerkes – werden vielfältigste Anforderungen gestellt. Die wichtigsten Kriterien sind:

- Reduktion der Wasseraufnahme
- Dichtigkeit gegen gasförmige Stoffe (CO_2)
- keine Behinderung der Wasserdampfdiffusion
- Rissüberbrückung.

Sikagard 550 Elastic ist ein 1-Komponenten-Beschichtungssystem auf Äthylen-Mischpolymerisat-Dispersionbasis, das die gestellten Anforderungen erfüllt.

Ausführung

In einer ersten Phase wurde ein Terminprogramm für die Ausführung der Betonsanierungs- und Bautenschutzarbeiten erstellt. Dies bildete für die Bauleitung zugleich die Basis für die Gesamt-Koordination mit den anderen am Bau beteiligten Unternehmen.

Bevor mit den eigentlichen Arbeiten am Objekt begonnen wurde, erfolgte als Aufgabe der Bauführung die Planung der Baustellenorganisation, welche

eine möglichst geringe Behinderung der fortwährenden Kirchenaktivitäten zu berücksichtigen hatte. Im speziellen betraf dies die Standortwahl der Mannschafts- und Materialcontainer, der Schuttmulden und der Hochdruck-Wasserstrahlanlage sowie die Sicherstellung der benötigten Werkleitungsanschlüsse.

Mit Beginn der Gerüstungs- und Baustelleninstallationsarbeiten erfolgte der effektive Startschuss am Objekt. Als Präventivmassnahmen wurden die Fenster und Türen am Hauptgebäude mit Hartfaserplatten sowie die Böden und Kirchturmdecken mit Kunststoff-Folien abgedeckt. Gleichzeitig wurde im Hinblick auf einen günstigen Blickfang die Lage für drei Musterflächen im Eingangsbereich des Hauptgebäudes bestimmt. Die gestellten Anforderungen an die Musterflächen beschränkten sich im vorliegenden Fall lediglich auf die ästhetischen Gesichtspunkte.

Untergrundvorbereitungen

Die während der Bauplanungsphase getätigten Abklärungen liessen es zu, dass keine besonderen Gewässerschutz- und Lärmschutzmassnahmen getroffen werden mussten. Die insgesamt zirka 1400 m² Betonoberfläche des Hauptgebäudes und des Kirchturms wurden mittels Hochdruck-Wasserstrahlverfahren von Schmutz, Zementhaut und Moosbefall befreit. Der Düsendruck an den zwei eingesetzten Arbeitslanzen betrug dabei 850 bis 950 bar bei einem durchschnittlichen Wasserverbrauch von 33 l/Min.

In Zusammenarbeit mit der Bauleitung wurden die gereinigten Betonflächen auf hohl liegende, korrodierende und im gefährdeten, karbonatisierten Bereich liegende Bewehrungen abgesucht. Als Hilfsmittel dienten für die Eisenüberdeckungsmessung der Profometer III sowie für die Bestimmung der Karbonatisierungstiefe das Verfahren mittels Alkalitätsindikator.

Das Freilegen der gefährdeten Bewehrungsteile erfolgte mit der hydrodynamischen Abbaumethode, also im Hoch-

druck-Wasserstrahlverfahren bis 2200 bar Betriebsdruck. Die gegenüber dem mechanischen Abbau bekannten Vorteile, wie zum Beispiel Rissfreiheit des Traggrundbetons, relativ geringe Lärmimmissionen sowie keine Beschädigungen an der Armierung, waren für die Wahl der zum Einsatz gelangten Methode ausschlaggebend.

Als nächster Schritt erfolgte die Inspektion der freigelegten Bewehrung durch den zuständigen Ingenieur, Herrn E. Pfister aus Olten, welcher die Situation aus statischer Sicht beurteilte. Eine Gefährdung der Tragfähigkeit konnte nicht festgestellt werden, so dass Bewehrungszulagen entfielen.

Bewehrung, Reprofilierung

Die freigelegten Armierungseisen wurden metallisch rein sandgestrahlt (Gütekategorie Sa 2,5) und die Betonausbruchstellen porentief entstaubt. Unmittelbar danach, d.h. jeweils am selben Tag, erfolgte der erste Korrosionsschutzanstrich mit Sika Mono Top 610.

Die bereits erwähnte porentiefe Entstaubung der Betonausbruchstellen sowie ein matfeuchtes Annetzen dieser Partien bildeten die Ausgangslage für die Applikation der Haftschrämme. Das dazu wiederum verwendete Material Sika Mono Top 610 wurde parallel zu dieser Arbeit als zweiter Schutzanstrich auf die Bewehrungsstäbe appliziert.

Der gemäss Herstellerangaben zubereitete, kunststoffvergütete Reprofiliermörtel Sika Mono Top 615 wurde nass in nass mit der Haftschrämme in die Ausbruchstellen eingearbeitet. Um den ohnehin geringen Wasserhaushalt unter den teilweise vorhandenen Extrembedingungen der Sonnen- und Windeinwirkung zu konservieren, erfolgte jeweils eine sofortige Nachbehandlung. Je nach Lage und Grösse der reprofilierten Stellen kamen vorgemastete Jutebahnen oder Abdeckungen mit Kunststoff-Folien zur Anwendung. Die praktisch rissfrei sanierten Bereiche bestätigten die Richtigkeit dieser Massnahmen.



Maschinelle Applikation des Reprofiliermörtels Sika Mono Top 615 bei grossflächiger Anwendung

Oberflächenschutzsysteme

Wie die Ergebnisse aus der Voruntersuchung zeigten, wiesen die Bewehrungsstäbe an den der Witterung am stärksten ausgesetzten West- und Südseiten des Kirchturmes nur eine minimale Betondeckung auf. Um auch an diesen exponierten Stellen eine dauerhafte Lösung garantieren zu können, musste eine vollflächige 10 mm starke Beschichtung vorgenommen werden.

Die Ausführung, die unter den gegebenen Bedingungen eine maschinelle Applikation im Nassspritzverfahren verlangte, erforderte eine gute Koordination der verschiedenen Arbeitsgänge:

- seitliches Abschalen der Wandflächen, um 10 mm Stärke zu gewährleisten
- jeweils am Vortag der effektiven Applikation, Wässerung der Betonoberflächen
- mattfeuchtes Benetzen der Wandfläche vor dem maschinellen Auftrag der Haftschlämme Sika Mono Top 610
- maschinelle Applikation von 10 mm Reprofiliermörtel Sika Mono Top 615 im Nassspritzverfahren
- Finisharbeiten mit Abziehlatten und Spachtel
- Nachbehandlung mit vorgehängten Jutebahnen.

Insgesamt wurde eine Fläche von 240 m² in diesem Verfahren bearbeitet. Der Rückprall des Spritzgutes betrug 18%.

Prüfungen	Anforderungen	Appl. Systemaufbau
Haftzugfestigkeit	≥ 1,5 N/mm ²	2,2 N/mm ²
Diffusionswiderstand Wasserdampf Sd	≤ 4,0 m	2,3 m
Diffusionswiderstand Kohlendioxid R	≥ 50 m	> 50 m

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden die Haftzugfestigkeiten des applizierten Systems auf dem Betontraggrund am Objekt überprüft. Die ermittelten Werte ergaben eine 7-Tage-Haftzugfestigkeit von 1,8 N/mm² (10 Einzelwerte). Kein Einzelwert unterschritt dabei 1,2 N/mm².

Um die an das abschliessende Schutzsystem gestellten hohen Anforderungen garantieren zu können, musste an der gesamten Betonkonstruktion ein vollflächiger Oberflächenausgleich appliziert werden. Die Spachtelarbeiten mit Sika Mono Top 620 wurden im selben System wie die Profilergänzung, also maschinell, aufgetragen. Der Verbrauch wurde mit 2,8 kg/m² bestimmt, was einer mittleren Schichtstärke von 1,4 mm entspricht.

Für die Ausführung des Schutzanstrichsystems mussten neben der wichtigen Verarbeitungstechnik zwei spezielle Einflussfaktoren mitberücksichtigt werden. Insbesondere betraf dies die Sonneneinwirkung (bis 33°C) sowie die Einzel-Flächenabmessungen 100 m² (Ästhetik). Die zeitweise bis zu 6 Mann starke Bautenschutzsquadre passte ihren Arbeitseinsatz der jeweiligen Bauteillage resp. den Witterungsbedingungen an. Der Verbrauch des verwendeten Primers Sikagard 551-S konnte mit 180 g/m² bestimmt werden. Die nachkalkulierte Ergiebigkeit betrug für den in zwei Arbeitsgängen aufgetragenen Schutzanstrich Sikagard 550 Elastic-Top 690 g/m². Die Trockenfilmstärke wurde nachträglich im Labor mit 200 µm bestimmt.

Materialbedarf

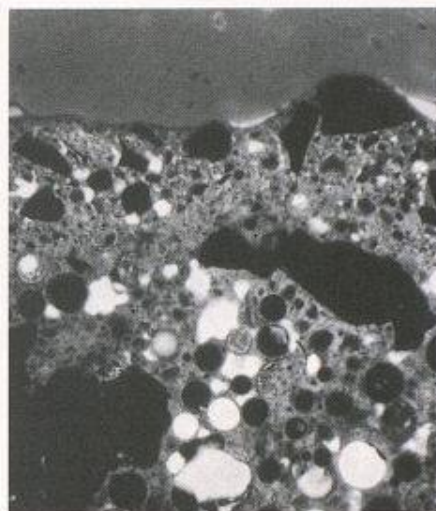
Betonsanierung:

- Haftschlämme Sika Mono Top 610 200 kg
- Reprofiliermörtel Mono Top 615 1600 kg
- Flächenspachtel Sika Mono Top 620 50 kg

Spezieller

Oberflächenschutz/Profilergänzung:

- Haftschlämme Sika Mono Top 610 480 kg
- Reprofiliermörtel Sika Mono Top 615 4700 kg



Qualitätssicherung. Dünnschliffaufnahme des Sanierungsaufbaues mit Mörtel, Flächenspachtel und rissüberbrückender Schutzschicht (Vergrösserung 3,5-fach)

Allgemeiner Oberflächenschutz:

- Flächenspachtel Sika Mono Top 620 3900 kg
- Grundierung Sikagard 551-S 250 kg
- Beschichtung Sikagard 550 Elastic Top 960 kg

Zusatzarbeiten, Termine, Qualität

Zusätzlich zu den beschriebenen Instandsetzungsmassnahmen wurden dem Bauablauf entsprechend, kraftschlüssige Injektionsarbeiten am Hauptgebäude sowie allgemeine Fugenabdichtungen ausgeführt. Aufgrund der günstigen Witterungsbedingungen und eines praktisch reibungslosen Baufortschrittes konnten die Arbeiten drei Wochen früher als terminiert beendet werden.

Die von der Bauherrschaft klar formulierten Zielvorgaben liessen bei der Wahl des Sanierungssystems nur aufeinander optimal abgestimmte Systemkomponenten mit nachweisbarem Eignungsattest zu. Die Qualitätsüberwachung am Objekt beschränkte sich auf die Haftzugfestigkeit der Beschichtung (Sika Mono Top 615) auf dem Traggrund. Mit Werten ≥ 1,2 N/mm² nach sieben Tagen wurden die gestellten Anforderungen übertroffen. Der Nachweis der wichtigsten Qualitätseigenschaften wurde anhand von entsprechenden Prüfungen an Bohrkernproben im Labor für Präparation und Methodik (LPM AG) in Beinwil am See vollzogen.

Adressen der Verfasser: Klaus Flury, Schmidlin + Gysi, Gönhardweg, 5000 Aarau. Martin Zimmermann, dipl. Ing. HTL, Betosan AG, Baslerstrasse 50, 4632 Trimbach-Olten; Urs Hüsey, dipl. Ing. HTL, Sika AG, Tüffenwies 16-22, 8048 Zürich.

Prüfung der Haftzugfestigkeit und der Diffusionswiderstände