Zustandsermittlung und Instandsetzung von Betonbrücken

Autor(en): **Menn, Christian**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 23

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79933

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Christian Menn, Chur

Zustandsermittlung und Instandsetzung von Betonbrücken

Obwohl Zustandsermittlung und Instandsetzung von Brückenbauwerken eigentlich einfache Probleme sind, muss festgestellt werden, dass die Kosten der Instandsetzungen und der Aufwand an Lehrveranstaltungen zum Thema einen gegenteiligen Eindruck erwecken. Die eigentliche Problematik wird daher kurz zusammengefasst dargestellt.

Die Sunnibergbrücke, eine 525 m lange, 60 m hohe, im Grundriss gekrümmte, mehrfeldrige Schrägkabelbrücke mit Spannweiten bis zu 140 m, kostete pro m^2 nutzbarer Fahrbahnfläche rund 4000 Franken; die wirtschaftlichste Lösung, eine mehrfeldrige Freivorbaubrücke mit Spannweiten von etwa 100 m, wäre noch etwa 15% billiger gewesen, d.h. 3400 Franken pro m^2. Die Instandsetzung der Höllbrücke im Kanton Uri, eine 400 m lange Hangbrücke mit Spannweiten von 41 m, kostete dagegen etwas mehr als 8000 Franken pro m^2.

Die Instandsetzung einer Betonbrücke sollte in der Regel (ohne Hilfsbrücke) nicht mehr als 1700 Franken pro m^2, d.h. nicht mehr als die Hälfte eines anspruchsvollen Neubaus, kosten [1]. Von diesen Kosten entfallen dann etwa 15 bis 20% auf die Zustandsuntersuchung, das Instandsetzungsprojekt und die Bauleitung und etwa gleich viel auf die Erneuerung des Abdichtung-Belag-Systems. Für die restlichen 1000 bis 1200 Franken pro m^2 lassen sich jedenfalls bei geschickter Projektierung nicht nur komfortable Schutzmassnahmen, sondern auch eine Erneuerung der Fahrbahnplatte und erhebliche Verstärkungen ausführen. Oft wird aber der Eindruck erweckt, dass die bei Neubauten wichtige Wirtschaftlichkeit bei Zustandsuntersuchungen und Instandsetzungen überhaupt keine Rolle spielt.

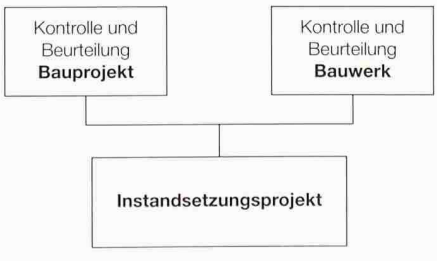
Die Brückenbautechnik weist heute ein hohes Niveau auf: Dank der Digitalisierung der Berechnung und einiger wichtiger materialtechnischer Neuentwicklungen, vor allem aber dank langjähriger, umfangreicher Erfahrungen ist es ohne weiteres möglich, neue, anspruchsvolle und aussergewöhnliche Brücken sicher und dauerhaft zu projektieren und zu bauen. Und es ist aufgrund einiger neuer, wertvoller wissenschaftlicher Erkenntnisse auch ohne weiteres möglich, den Bauwerkszustand bei älteren Brücken ohne grossen Aufwand so zu ermitteln, dass eine einwandfreie Instandsetzung geplant und durchgeführt werden kann. Trotz dieses hohen Stands der Brückenbautechnik ist selbstverständlich nichts gegen weitere Brückenforschung einzuwenden; aber Forschungsergebnisse, die für die Praxis mindestens vorläufig völlig irrelevant sind, sollten nicht an Weiterbildungsveranstaltungen für praktische Ingenieure als wichtige Bestandteile des derzeitigen State of the Art im Brückenbau vorgestellt werden. Für die Praxis sind die wenigen, einfachen, grundlegenden Zusammenhänge viel wichtiger als die extensive Präsentation von unbedeutenden Parameterstudien und unendlichen, mehr oder weniger stochastischen Messreihen. Ausserdem sollten bei Brückenuntersuchungen einigermassen vernünftige Prioritäten gesetzt werden: Es ist zwar nicht völlig sinnlos, wenn bei Brücken, die abgebrochen werden müssen, umfangreiche Untersuchungen durchgeführt werden, obwohl die betreffenden Schäden und deren Ursachen klar ersichtlich und bekannt sind, aber es wäre zweifellos viel sinnvoller, wenn zuerst einmal bei Brücken, die vor allem aus verkehrstechnischen Gründen nicht abgerissen werden können und die in Bezug auf schädliche Einwirkungen heikel sind, seriöse Zustandsuntersuchungen durchgeführt würden.

Grundsätzliches zur Zustandsermittlung und Instandsetzung

Die Zustandsermittlung einer Brücke besteht aus der Kontrolle und Beurteilung

- des Bauprojekts und
- des Bauwerks.

Nur aufgrund dieser ganzheitlichen Kontrolle und Beurteilung von Projekt und Bauwerk kann ein einwandfreies, wirtschaftliches Instandsetzungsprojekt ausgearbeitet werden.



Die Kontrolle und Beurteilung des Bauprojekts umfasst die Berechnung, Bemessung und Konstruktion sowie die zugehörigen Baupläne. Es handelt sich dabei um rein statisch-konstruktive Probleme, wobei sich aufgrund der Plankontrolle bereits viele schadenanfällige Stellen lokalisieren lassen.

Die Kontrolle und Beurteilung des Bauwerks umfasst die Aufnahme und den eindeutigen Ursachennachweis von Durchbiegungen und Rissen (mit einer mittleren Rissbreite über 0,3 mm), die Aufnahme von sichtbaren Mängeln und Schäden (infolge unsachgemässer Planung und/oder Ausführung), die Ermittlung von Karbonatisierungstiefen und Chloridprofilen sowie die Durchführung von Potentialmessungen aufgrund eines entsprechenden Untersuchungsprojekts. Bei der Kontrolle und Beurteilung des Bauwerks handelt es sich um konstruktive, materialtechnische und bodenmechanische Probleme.

Das Instandsetzungsprojekt umfasst einerseits verkehrstechnisch erforderliche Um- und Ausbauarbeiten, statisch notwendige Verstärkungen sowie die Instandsetzung oder den Ersatz von Bauteilen (z.B. Lager) und Systemen (z.B. Brückenentwässerung, Abdichtung-Belag-System usw.) und anderseits die Reparatur- und Schutzmassnahmen bei Korrosion der Beton- und Spannstahlbewehrung. Bei der Erarbeitung des Instandsetzungsprojekts geht es wieder fast nur um statische und konstruktive Brückenbauprobleme, denn die Wahl der geeigneten und bewährten Reparatur- und Schutzmassnahmen bereitet keine wesentlichen Schwierigkeiten.

Wichtige Probleme bei Kontrolle und Beurteilung des Bauprojekts

Die wichtigsten statisch-konstruktiven Kontrollen betreffen:

- Konstruktive Durchbildung von Bauteilen und Systemen
- Stabilität in Bezug auf Erdbeben und Wind
- Biege- und Schubtragfähigkeit in Haupttragrichtung
- Anschluss der unteren Kastenplatte
- Krafteinleitung an den Trägerenden
- Fahrbahnplatte
- Aufhängebewehrung bei indirekter Lagerung
- Potentielle Mängel.

Ältere Brücken weisen in Bezug auf die konstruktive Durchbildung oft Mängel auf: z.B. ungeeignete Abdichtung-Belag-Systeme, unzugängliche Hohlräume, ungenügend abgedichtete Fahrbahnplatten-

durchbrüche, unterläufige Konsolköpfe, salzwasserexponierte Bauteile mit Bewehrungsüberdeckungen von weniger als 50 mm, unzweckmässige, ungeschützte oder unzugängliche Lager, unzweckmässige oder schlecht entwässerte Fugenkonstruktionen, ungenügend entwässerte Widerlagernischen, heikle oder untaugliche Brückenentwässerungen, Belagsentwässerungen ohne Tropfüberstände, einbetonierte Geländer- und Leitplankenpfosten usw.

Die Stabilität in Querrichtung muss immer - wenn nötig durch Verstärkungen - gewährleistet sein. Die Stabilität in Längsrichtung ist bei älteren Brücken oft nicht ausreichend, und eine entsprechende Verstärkung ist meistens mit erheblichem Aufwand verbunden. Dieser Aufwand ist unumgänglich, wenn die Brücke Zwischendilatationen aufweist, d.h. wenn die Brücke zwischen den Endwiderlagern nicht fugenlos durchläuft. Bei Brücken ohne Zwischendilatationen können dagegen in der Regel gewisse Schäden an den Fugenkonstruktionen in Kauf genommen werden; ein Absturz des Trägers vom Widerlager (infolge Erdbeben) muss aber unbedingt verhindert werden.

Die Biegetragfähigkeit ist bei älteren, «voll vorgespannten» Brücken auch bei einer Erhöhung der Eigenlast fast immer gewährleistet. Die Schubtragfähigkeit ist jedoch (wegen Änderungen in den Normen) oft - selbst ohne Erhöhung der Eigenlast - zu klein.

Bei der Kontrolle von Brückenprojekten vor allem aus den 60er und 70er Jahren zeigte sich häufig, dass die Bewehrung der unteren Kastenplatte nur für die Plattenquerbiegung, nicht aber für die viel wichtigere Einleitung der Schubkräfte bemessen worden war.

Die Trägerenden weisen oft einen sehr kleinen Lagerüberstand und eine zu kleine, hinter den Lagern verankerte Bewehrung auf, und die Verankerungsplatten der Spannkabel befinden sich direkt über, manchmal sogar vor den Lagern. In diesen Fällen ist die Einleitung der Auflagerkraft nicht ohne Betonzug möglich.

Da die Bewehrung der Fahrbahnplatte (nach alten Normen) meistens möglichst knapp bemessen wurde, ist immer eine generelle Überprüfung erforderlich. Bei indirekter Lagerung wurde der Aufhängebewehrung oft zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt; ein kritischer Punkt, der bei jeder Projektüberprüfung kontrolliert werden muss.

Potentielle Mängel infolge höherer Sicherheitsansprüche, neuer Erkenntnisse, Umgebungsveränderungen, Naturereignissen (Hochwasser, Erdrutsche, Steinschlag, Lawinen usw.), Kriechdruck, Anprall, Kolkschutz, Feuer sind im Blick auf Risiko, Sicherheit und Kosten (im Sicherheitsplan für das Instandsetzungsprojekt) zu beurteilen.

Wichtige Probleme bei Kontrolle und Beurteilung des Bauwerks

- Bei einem Beton, der keine hohe Frostbeständigkeit aufweist, sind bei chloridhaltigem Wasser im Spritz- und Kontaktwasserbereich (auch unter Belägen ohne oder mit unwirksamer Abdichtung) massive Betonschäden möglich.
- Auch bei ausreichender Frostbeständigkeit des Betons muss bei chloridhaltigem Wasser im Spritz- und Kontaktwasserbereich bis in eine Tiefe von mindestens 50 mm mit einem korrosionskritischen Chloridgehalt gerechnet werden [2].
- Die Korrosionsgeschwindigkeit von Betonstahl infolge Karbonatisierung ist generell langsam; Lochfrasskorrosion ist selten. Die Korrosionsgeschwindigkeit infolge Chloridkontamination ist dagegen generell schnell, und gefährlicher Lochfrass ist wahrscheinlich.
- Bei Fahrbahnplatten ist die schnelle, gefährliche Lochfrasskorrosion an der Betonoberfläche (durch Abplatzungen oder Roststellen) meistens nicht erkennbar (das zeigen Erfahrung an zahlreichen, inzwischen sanierten Brücken).
- Zur Ermittlung der Karbonatisierungstiefe werden an jeder Probestelle der höchste und der tiefste Wert der Karbonatisierungsfront gemessen; Chloridprofile können genügend genau durch lineare Verbindung der Messwerte in 15 und 45 mm Tiefe bestimmt werden.

Mängel und Schäden am Bauwerk

Bei der Bauwerkskontrolle werden alle Mängel und Schäden ermittelt, die infolge unzweckmässiger, unsorgfältiger oder fehlerhafter Planung, infolge von Ausführungsfehlern (die bei der Bauwerksabnahme nicht erkannt oder nachher ungenügend repariert wurden) und infolge Verschleiss entstanden sind. Die Ermittlung dieser Mängel und Schäden erfolgt visuell, durch Abklopfen mit dem Hammer und durch Messungen und Probenahmen aufgrund eines speziellen Projekts für die Zustandserfassung. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um folgende Probleme:

- Baugrundverschiebungen, Setzungen, Erd-Kriechdrücke
- Hochwasser- und Kolkschutz
- Risse und Verformungen
- Abdichtung-Belag-System
- Fehl- und Ausbesserungsstellen im Beton, mangelhafte Betonierfugen
- Korrosionszustand von Beton und Bewehrung
- Verschleissteile
- Mechanische Elemente (Lager, Fugenkonstruktionen usw.).

Spezielle Kontrollen

- Risse mit einer mittleren Breite von mehr als 0,3 mm und aussergewöhnliche Verformungen sind meistens Anzeichen für Schäden oder unvorhergesehene Beanspruchungen. Erst wenn die Ursachen dieser Indikatoren einwandfrei abgeklärt sind lässt sich beurteilen, ob solche Risse und Verformungen in Bezug auf Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit irrelevant und vernachlässigbar sind.
- Beurteilung des Abdichtung-Belag-Systems: Nicht verklebte Fahrbahnplatten-Abdichtungen sind im Brückenbau unzulässig, da Risse in der Abdichtung zu einer nicht kontrollierbaren Unterläufigkeit führen. Solche Systeme müssen auch ohne umfangreiche Untersuchungen so rasch wie möglich ersetzt werden. Bei Freivorbaubrücken ist das Gefährdungspotential insofern noch viel grösser, als neben der Fahrbahnplattenbewehrung auch die in der Fahrbahnplatte vorhandene Spannbewehrung von chloridinduzierter Korrosion betroffen sein kann. Brückeningenieure, die unzulässige Abdichtung-Belag-Systeme bei Freivorbaubrücken detailliert inspizieren - und falls notwendig - nicht innert nützlicher Frist ersetzen, handeln fahrlässig.

Auch verklebte Abdichtungen können mit der Zeit (durch Ablösungen) unterläufig werden. Am wahrscheinlichsten ist die Unterläufigkeit am seitlich tieferen Fahrbahnrand. Mit brückenunterseitigen Potentialmessungen entlang dieses Randes lässt sich relativ rasch und einfach ermitteln, wie hoch die Wahrscheinlichkeit von unterläufigen Stellen ist. Risse in der verklebten Abdichtung werden meistens durch Risse (auch Betonierfugen) in der Fahrbahnplatte verursacht. Wasserführende Trennrisse haben Bewehrungskorrosion zur Folge und sind immer leicht zu erkennen. Risse in der Abdichtung, die in der Betonplatte nicht durchgehen, können kaum festgestellt werden; sie sind aber auch meistens ungefährlich. Gefährlich können solche Risse jedoch sein, wenn durch sie Wasser zu den Spanngliedern vordringen kann; und zwar insbesondere dann, wenn die Risse parallel über (schlecht ausinjizierten) Spanngliedern verlaufen.

- Korrosion der Betonstahlbewehrung: Korrosion im Betonstahl wird durch Stahldepassivierung infolge Karbonatisierung oder Chloridinfiltration verursacht. Entscheidend für die Beurteilung der Korrosion sind die Depassivierung und die Korrosionsgeschwindigkeit.

Alle für die Depassivierung verantwortlichen Parameter wie Bewehrungsüberdeckung, Karbonatisierungstiefe und Chloridprofil weisen in typischen Bereichen in Bezug auf ihre Mittelwerte erhebliche Streuungen auf. Es ist deshalb logisch und sinnvoll, in typischen Bereichen aufgrund einer repräsentativen Anzahl Messungen die Depassivierungs- bzw. Korrosionswahrscheinlichkeit zu ermitteln [3]. Typische Bereiche für Karbonatisierung sind Betonflächen mit gleicher Exposition (z.B. Stegaussenseite, Plattenunterseite) und für Chloridinfiltration Betonflächen mit ähnlichem Potential (z.B. bei chloridkontaminierten Fahrbahnplatten) oder Betonflächen mit unterschiedlicher Spritzwasserbelastung (z.B. chloridkontaminierte Stützen und Wände).

Bei Korrosion infolge Karbonatisierung ist die Korrosionsgeschwindigkeit generell langsam, aber stark unterschiedlich bei beregneten und nicht beregneten Betonflächen. An Stellen mit geringer Bewehrungsüberdeckung und relativ tiefer Karbonatisierung, wo die Depassivierung somit schon vor Jahren erfolgt ist, lassen sich am freigelegten Stab sowohl die stark vom Mikroklima und den Betoneigenschaften abhängige Korrosionsgeschwindigkeit als auch die Abplatzungsgefahr sehr zuverlässig abschätzen. Lochfrass (mit hoher Korrosionsgeschwindigkeit) ist selten. Abplatzungen sind abhängig vom Verhältnis von Stabdurchmesser zu Bewehrungsüberdeckung, Mikroklima, Betonqualität und Stababstand.

Bei Korrosion infolge Chloridinfiltration ist die Korrosionsgeschwindigkeit generell hoch, da mit Lochfrass gerechnet werden muss. Die gefährliche Lochfrasskorrosion ist insbesondere bei kleinen Stabdurchmessern nicht durch Abplatzungen erkennbar. Schon wenn eine sicherheitsrelevante Bewehrung eine Depassivierungswahrscheinlichkeit von 10 bis 15% aufweist, sind Instandsetzungsmassnahmen mit Verstärkungen unerlässlich. Gefährdet sind diesbezüglich vor allem Fahrbahnplatten mit unzureichender Abdichtung und alle Betonflächen mit mehr oder weniger intensivem Salzwasserkontakt, wie Wasserrückfluss am Brückenrand, Belagsentwässerungen ohne Tropfwasserüberstand, Windspritzwasser aus Freifallentwässerungen, schlecht ausgebildete Dilatationsfugen, defekte Abdichtungen bei Entwässerungsschächten, Einstiegöffnungen in der Fahrbahnplatte usw. Die Eindringtiefe der Karbonatisierung und die Chloridkonzentration auf einer bestimmten Tiefenstufe wachsen im Prinzip zeitabhängig degressiv und streben in der Regel einem Endwert zu [2, 4].

- Korrosion der Spannstahlbewehrung: Ein hohes Gefährdungspotential für Spannstahlkorrosion besteht:
  - Bei schlecht ausgeführten Injektionen. Besondere Gefahrenstellen sind dabei Spannliedhochlagen über den Stützen und Endverankerungen (insbesondere Endverankerungen in der Fahrbahnplatte)
  - Bei direkter Chloridbelastung von Spanngliedern in Hochlage über den Stützen und bei Spanngliedern in der Fahrbahnplatte
  - Bei schlecht zubetonierten Spannnischen (insbesondere Spannnischen in der Fahrbahnplatte)
  - Bei Stegflächen mit Salzwasserkontakt
  - Bei Hohlraumbildungen im Beton infolge zu enger Spanngliedanordnung (insbesondere in der Tieflage der Spannglieder in Feldmitte).

Da die Vorspannung einen entscheidenden Einfluss auf den Spannungszustand in einem Querschnitt hat, kündigen sich Drahtbrüche von sicherheitsrelevantem Ausmass fast immer mit Rissen und ungewöhnlichen Verformungen an. Dies gilt insbesondere bei Drahtbrüchen über den Stützen. Der Zustand der Endverankerungen lässt sich immer direkt überprüfen. Die Gefährdung der Spannglieder durch direkte Chloridbelastung kann mit Chloridprofilen ermittelt werden. Stegflächen mit Salzwasserkontakt sind deutlich erkennbar, und Hohlraumbildungen können oft mit dem Hammer festgestellt werden.

Bei Korrosion der Hauptvorspannung, die in der Regel aus zahlreichen Kabeleinheiten besteht, muss bei periodischen Brückenkontrollen zwar nicht mit gefährlichen Überraschungen gerechnet werden, die entsprechenden Instandsetzungs- und Verstärkungsarbeiten sind aber äusserst aufwendig.

Konstruktive Instandsetzungsmassnahmen

Bei älteren Brücken sind die Verformungen aus Schwinden und Kriechen weitgehend abgeklungen. Sehr oft können deshalb durch Elimination von Lagern und Fugen kritische Stellen saniert werden und in speziellen Fällen lässt sich damit sogar die Systemtragfähigkeit beträchtlich erhöhen.

In Bezug auf die konstruktive Durchbildung müssen alle unzugänglichen Hohlräume geöffnet und alle Mängel in der konstruktiven Durchbildung, die zu Schäden führten, müssen behoben werden.

Eine Erhöhung des Biegewiderstands ist meistens nur dann erforderlich, wenn die Eigenlast (infolge Verstärkung der Fahrbahnplatte, Fahrbahnverbreiterung oder dickerem Belag) beträchtlich erhöht wird. Die einfachste Systemverstärkung besteht dann darin, dass der Biegewiderstand nur über den Stützen mit schlaffer Bewehrung in der aufgedoppelten Fahrbahnplatte vergrössert wird. Nur wenn diese Massnahme nicht genügt, muss eine Verstärkung mit externen Spannkabeln in Betracht gezogen werden [5].

Für die Vergrösserung des Schubwiderstands genügt meistens eine innenseitige Stegverstärkung von 15 bis 20 cm Dicke mit der erforderlichen Schubbewehrung, die mit Klebedübeln an die obere und die untere Kastenplatte angeschlossen ist. Die Stegverstärkung mit der neuen Bewehrung verlagert das Schubfachwerk auf die Steginnenseite und entlastet so die Schubbewehrung auf der Stegaussenseite. Bei offenen Querschnitten kann im Stützbereich zwischen den Stegen eine untere Kastenplatte eingebaut werden. Ein einwandfreier Anschluss der unteren Kastenplatte lässt sich mit einer Plattenverstärkung entlang der Stege, die mit Klebedübeln einerseits an die Stege und andererseits an die vorhandene Platte angeschlossen ist, erreichen.

Bei einem zu kurzen Überstand am Trägerende ist es am einfachsten und wirkungsvollsten, am Widerlager Lisenen anzubetonieren, auf die dann vorgeschobene Lager aufgesetzt werden können. Diese Massnahme dient gleichzeitig auch als allfällig erforderliche Absturzsicherung bei Erdbebeneinwirkung.

Verstärkungen der Fahrbahnplatte sind bei einer Verbreiterung oder bei chloridinduzierten Korrosionsschäden an der oberen Plattenbewehrung erforderlich. Zu diesem Zweck wird die Plattenoberfläche stark aufgerauht oder bis auf die Bewehrung abgetragen. Im 8 bis 10 cm dicken Neubeton kann die erforderliche Zusatzbewehrung (aus Beton- und/oder Spannstahl) untergebracht werden.

Wenn eine Verstärkung der Aufhängebewehrung notwendig ist, müssen meistens die Auflagerquerträger zur Aufnahme der zusätzlich erforderlichen Aufhängebewehrung beidseitig verbreitert werden.

Bei praktisch allen Verstärkungsarbeiten wird alter und neuer Beton kraftschlüssig verbunden. Zu diesem Zweck muss der Altbeton einwandfrei aufgerauht und ausreichend gewässert werden und er

darf vor dem Aufbringen des Neubetons nicht austrocknen. Die Schubdübel wirken bei starker Aufrauhung als Zugdübel und sind so zu berechnen und anzuordnen, dass der Schub aus den Zugkräften der neuen Bewehrung in den Altbeton eingetragen werden kann. Die Dübel sind je nach Dicke des Neubetons mit einer so grossen Verankerunsplatte zu versehen, dass sie nicht aus dem Beton herausgerissen werden können [6].

Oberflächenschutzmassnahmen bei depassivierter Bewehrung

Depassivierung infolge Karbonatisierung:

Der Leitparameter der Korrosionsgeschwindigkeit ist der mittlere Feuchtigkeitsgehalt in der oberflächennahen Betonschicht. Es interessiert nur die langzeitlich mittlere Korrosionsgeschwindigkeit und nicht irgendein, z.B. temperaturbedingter Spitzenwert der Korrosionsgeschwindigkeit. Das Ziel der Oberflächenschutzmassnahmen besteht deshalb im Prinzip darin, die Feuchtigkeit in dieser Betonschicht zu vermindern. Die natürliche Austrocknung wird unterbrochen durch den kapillaren Wassertransport bei direkter Beregnung, durch Kondenswasserbildung sowie durch Sorbtion und Diffusion. Am wichtigsten ist natürlich die direkte Beregnung; aber auch die Kondenswasseraufnahme kann beträchtlich sein. (An versiegelten Brückenträgern kann beobachtet werden, wie bei bestimmten Wetterlagen erstaunlich grosse Mengen an Kondenswasser abtropfen.)

- In nicht beregneten Bereichen sind bei trockenem Mikroklima mit sehr kleiner (festgestellter) Korrosionsgeschwindigkeit auch bei sehr grosser Depassivierungswahrscheinlichkeit keine Schutzmassnahmen erforderlich.
- In nicht beregneten Bereichen ist bei feuchtem Mikroklima mit etwas grösserer (festgestellter) Korrosionsgeschwindigkeit bei grosser Depassivierungswahrscheinlichkeit vor allem mit Blick auf das Aussehen (Abplatzungen) eine Versiegelung sinnvoll. Versiegelungen sind dampfdurch-, aber wasserundurchlässig. Damit wird die Aufnahme von Kondenswasser verhindert. An der A2 im Kanton Uri wurden verschiedene Brückenträger einwandfrei versiegelt.
- Bei Stellen mit grob porösem Beton, Ausbesserungen oder bei Betonierfugen (insbesondere in den Trägerstegen) ist die Karbonatisierungstiefe tendenziell grösser als im kompakten Beton. Diese speziellen Bereiche sollten deshalb auch speziell untersucht und beurteilt werden. Wenn im kompakten Beton keine Schutzmassnahmen vorgesehen werden mussten, sind an diesen speziellen Stellen höchstens einige lokale Ausbesserungen notwendig; bei einer gesamthaften Versiegelung muss nichts Besonderes vorgesehen werden.
- In beregneten Bereichen ist die Feuchtigkeitsaufnahme gross, und die Korrosionsgeschwindigkeit ist dementsprechend auch grösser. Wegen des Aussehens ist deshalb bereits bei relativ kleiner Depassivierungswahrscheinlichkeit eine Versiegelung zweckmässig. Bei grosser Depassivierungswahrscheinlichkeit ist mit Blick auf die Sicherheit eine elastische Beschichtung auf Zementbasis sinnvoll. Über entsprechende Produkte besteht heute bereits eine langjährige Erfahrung; die meisten Getreidesilos (Wandstärken 14–16 cm, Überdeckung rund 15 mm, Herstellung mit Gleitschalung) mussten schon vor Jahren wegen starker Karbonatisierung und direkter Beregnung mit einem Oberflächenschutz versehen werden.

Karbonatisierungsbremsen und Realkalisierungen sind im Brückenbau kaum sinnvolle Massnahmen. Nach 15 bis 20 Jahren nimmt die Depassivierungswahrscheinlichkeit nur noch unwesentlich zu, und Austrocknung durch Versiegelung ist eine einfache und bewährte Massnahme.

Depassivierung infolge Chloridinfiltration:

Bei Depassivierung durch Chloride muss mit gefährlichem Lochfrass gerechnet werden, auch wenn (an der Oberfläche) keine Schäden (Roststellen, Abplatzungen) erkennbar sind. Das heisst klar und einfach, dass bei einer sicherheitsrelevanten Bewehrung bereits bei einer relativ kleinen Depassivierungswahrscheinlichkeit von 10 bis 15% die Betondeckschicht abgetragen werden muss, um das Ausmass der lochfrassgeschädigten Bewehrung festzustellen und um die erforderliche Zusatzbewehrung zu berechnen. Es heisst aber auch, dass elektrochemische Chloridentfernung und kathodischer Schutz (ohne Abtrag der Betondeckschicht) im Brückenbau keine tauglichen Massnahmen sind.

Die Reprofilierung erfolgt, wenn nur eine kleine Zusatzbewehrung erforderlich ist, mit Spritzbeton. Für die Herstellung von Spritzbeton mit einwandfreiem Verbundverhalten zum Altbeton bestehen heute – auch bei schwierigen Verhältnissen (z.B. Salginatobelbrücke) – ausreichende Erfahrungen [7, 8]. Starke Zusatzbewehrungen erfordern entsprechend viel Platz; bei geneigten Flächen ist es deshalb vorteilhafter einen 15 bis 20 cm dicken Vorsatzbeton und bei horizontalen Flächen (Fahrbahnplatten) einen 8 bis 10 cm dicken Überbeton vorzusehen. Es ist kaum möglich, allen chloridkontaminierten Beton zu entfernen. Es kann deshalb – nach den erforderlichen Abklärungen – interessant sein, im Reprofilierungsbeton geeignete Inhibitoren zu verwenden, die die Bewehrung gegen chloridinduzierte Korrosion schützen [9].

Schlussbemerkungen

Zustandserfassung, -beurteilung und Instandsetzung von Brücken sind im Prinzip einfache Probleme. Sie erfordern neben einem Minimum an konstruktiver Phantasie hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Aussehen der Instandsetzung nicht mehr als zumutbare Grundkenntnisse in Materialtechnologie und Bodenmechanik; aber leider werden diese Probleme in vielen Fällen künstlich kompliziert und dementsprechend unsachgemäss gelöst und verteuert.

Bei Instandsetzungsprojekten muss der genau gleiche Kosten/Qualitätsmassstab angesetzt werden wie bei Neubauten; d.h. Untersuchungen und Massnahmen, die weit über das Erforderliche hinausgehen, sind ebenso fragwürdig wie unsorgfältige, weit überrissene Bemessungen. Und wie die vorliegenden Ausführungen zeigen, fallen die konstruktiven Massnahmen bezüglich Wirtschaftlichkeit viel stärker ins Gewicht als die Schutzmassnahmen.

Bei Instandsetzungsprojekten von Brücken sollten auch die Auswirkungen auf das Aussehen berücksichtigt werden. Verstärkungsarbeiten bei Brücken sollten wenn möglich nicht als solche erkennbar sein. Es ist hier nicht so wie bei historischen Bauten, wo im Sinne der Denkmalpflege neue Bausubstanz u. U. deutlich von authentischer Bausubstanz abgegrenzt wird. Beispielhaft für zweckmässige und sensible Brückeninstandsetzungen sind die einwandfrei ins Erscheinungsbild integrierten Unterspannungen bei alten Eisenbahnbrücken. Die von weitem sichtbare Schubverstärkung einer Überführung über die A1 im Kanton Solothurn grenzt dagegen an Vandalismus.

Bei allen Instandsetzungsprojekten steht genau gleich wie bei Neubauten die konstruktive Kompetenz im Mittelpunkt; Bodenmechanik und Materialtechnologie sind dabei wichtige Begleitwissenschaften. Das war schon vor 500 Jahren so bei der Reparatur der Kuppel von St. Peter in Rom und galt auch vor wenigen Jahren bei der Sicherung des schiefen Turms in Pisa. Es

galt für die Verstärkung unzähliger Eisenbahnbrücken und gilt - in Ergänzung zur architektonischen Kompetenz - auch bei der Erhaltung historischer Bauwerke. Es ist deshalb nicht einzusehen, warum heute unzählige, teure, praktisch nutzlose Sonden in neue (sofern richtig geplant und gebaut) dauerhafte Bauwerke eingebaut werden und warum unzählige Tagungen mit Schwerpunkt Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung durchgeführt werden, die oft nur verwirren und die leider von den wichtigen konstruktiven Aspekten ablenken.

Adresse des Verfassers:
Christian Menn, Prof. Dr. sc. techn., Dr.-Ing. E.h., Plantaweg 21, 7000 Chur

Literatur

[1]
Figi H.: Erhaltung der N13-Brücken im Kanton Graubünden. SIA-Dokumentation D 0129, Zürich 1996

[2]
Keller T.: Dauerhaftigkeit von Stahlbetontragwerken. IBK-BerichtNr. 184, ETH Zürich, Birkhäuser Verlag, Basel 1991

[3]
Menn C.: Ermittlung und Beurteilung der Bewehrungskorrosion. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 16/17, 1998

[4]
Flückiger D. et al.: Chloride im Beton. VSS-Bericht Nr. 520, VSS-Verlag, Zürich 1996

[5]
Schnetzer H., Menn C.: Vorspannung ohne Verbund. VSS-Bericht Nr. 525, VSS-Verlag, Zürich 1996

[6]
Brenni P. et al.: Verbindung von altem und neuem Beton. IBK-Bericht Nr. 193, ETH Zürich, Birkhäuser Verlag, Basel 1992

[7]
Kägi J.: Spritzbeton, Anwendung und Erfahrungen bei Instandsetzungsarbeiten. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 19, 1998

[8]
Figi H.: Rehabilitation of the Salginatobel Bridge. SEI Volume No. 1, IABSE, Zürich 2000

[9]
Schmalz P., Malric B.: Korrosionsbekämpfung im Stahlbeton durch Inhibitoren auf MFP-Basis. SIA-Dokumentation D 099, Zürich 1993

Walter Frei, Lorenz Keller, Schwerzenbach, Klaus Brauch, D-Heitersheim

Orientierter Bohrlochscanner

Neuartiges Verfahren zur In-situ-Dokumentation und -Trennflächenanalyse von Bohrlochprofilen

Zur Dokumentation auch geneigter Bohrungen kann die digitale, orientierte Bohrlochkamera eingesetzt werden, die auf einfache Art die Herstellung eines virtuellen Bohrkerns in einer Echtfarbdarstellung ermöglicht und von allen Standard-Softwarepaketen lesbar ist. Gefügemessungen wie Einfallen, Richtung und Öffnungsweite von Klüften usw. können interaktiv am Bildschirm vorgenommen werden. Auf der Grundlage dieser Daten können dann statistische Auswertungen erfolgen.

Geotechnische Untersuchungen stützen sich zu einem erheblichen Teil auf Bohrungen und deren Beschreibung. Zur kostengünstigen, schnellen und objektiven Dokumentation sowie zur Bestimmung der Raumlage von Trennflächen wurde der digitale Bohrlochscanner entwickelt.

Die Sonde

Der orientierte, optische Bohrlochscanner liefert einen virtuellen, drehbaren Bohrkern in Echtfarben zur Dokumentation des Gesteins sowie zur qualitativen und quantitativen Erfassung und Bewertung des kompletten Trennflächeninventars. Dazu gehören Einfallen und Streichen von Schichtung, Schieferung und Klüftung sowie die Erfassung kleintektonischer Störungsmuster und Strukturanomalien. Die Befahrung kann in teilweise oder ganz offenen Bohrungen durchgeführt werden. In sehr instabilen, geneigten oder horizontalen Bohrlöchern besteht die Möglichkeit, im Schutz des Bohrgestänges die Aufnahme zu tätigen. Der optimale Bohrdurchmesser beträgt zwischen 80 und etwa 350 mm. Das Bohrloch kann ganz oder teilweise mit klarem Wasser geflutet sein.

Das Messsystem besteht aus der Sonde und drei unabhängigen Softwaremodulen. Die zentrale Einheit bildet der Scanner, der im Kopf der Sonde steckt. Er erfasst digital die gesamte Bohrlochwandung. Mit einer Geschwindigkeit von bis zu vier Meter pro Minute können an einem Messtag inklusive Installation problemlos mehrere hundert Meter Bohrlochwand hochauflösend (Auflösung unter 0,5 mm) und in Farbe gescannt werden. Die gescannten Bilder werden online im Messwagen optisch überprüft. Die Bildparameter Helligkeit, Kontrast, Farbverteilung usw. können in Echtzeit gesteuert werden (Modul 1). Dieses Vorgehen bietet den Vorteil einer ständigen Qualitätskontrolle. Die Bilddaten werden mit der Tiefenangabe versehen und in der Richtung orientiert auf der Festplatte in einem gängigen Dateiformat (BMP, JPG o.ä.) gespeichert.

Auswertung

Das zweite Modul ermöglicht das nachträgliche Betrachten der Bilder. Dazu werden diese zu einem beliebig dreh- und senkbaren virtuellen Bohrkern oder einer virtuellen Bohrlochwandung zusammengefügt (Bild 1, 2). Der virtuelle Bohrkern vereinfacht die optische Beurteilung der Qualität des Bohrlochs und vermittelt einen Eindruck über die räumliche Lage der einzelnen Schicht- und Kluftflächen. Diese Beurteilung ist auf jedem Standard-PC mit CD-Laufwerk durchführbar. Die Digitalisierung des Gefüges (Modul 3) erfolgt am Bildschirmarbeitsplatz auf einem beliebigen Computer mit Windows NT. Schichtung, Schieferung und Klüftung werden in verschiedene Gruppen eingeteilt und dann in ihrer Richtung und Grösse (z.B. Kluftöffnung) eingemessen (Bild 2b und c). Die dazu erstellten Statistiken lassen sich separat je Kategorie erstellen. Die Berichterstattung besteht aus der Abbildung der Bohrwand. Dazu kommen Pol-Diagramme (Bild 3), Kluftrosen, RQD-Index und Tabellen sowohl einzelner Systeme als auch der summierten Datenmenge. Rund 1000 m Bohrung finden auf einer CD-ROM Platz.

Weitergehende Gefüge-Auswertungen wie Errechnung der Kluftrichtungen in einer hypothetischen Tunnelachse usw. können auf der Basis dieser Daten ebenfalls durchgeführt werden.