Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 100 (1982)
Heft: 22

Artikel: Überwachung und Unterhalt von Kunstbauten
Autor: Woywod, Ernst / Milosavljevic, Miodrag / Lazic, Branislav
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74815

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: 08.07.2025

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

Überwachung und Unterhalt von Kunstbauten

Von Ernst Woywod, Miodrag Milosavljevic und Branislav Lazic, Aarau

Um Mängel rechtzeitig aufzudecken, ist es Pflicht des Werkeigentümers, seine Bauwerke regelmässig zu kontrollieren [10]. Durch eine rechtzeitige Reparatur oder durch vorbeugende Massnahmen sollen grössere Schäden vermieden und vor allem die Sicherheit gewährleistet werden.
Nachstehend wird über die Organisation und Erfahrung bei der Überwachung und beim baulichen Unterhalt der Kunstbauten an Kantons- und Nationalstrassen des Kantons Aargau berichtet und an einigen Beispielen erläutert. Schliesslich soll versucht werden, die Folgerung aus den Erfahrungen für die Projektierung, Ausschreibung und Ausführung von Neubauten zu ziehen.

Die vorliegende Beitragsreihe erscheint anlässlich der Arbeitstagung der kantonalen Brückeningenieure vom 3./4. Juni 1982 in Bellinzona. Tagungspräsident E. Rey, wissenschaftlicher Adjunkt beim Bundesamt für Strassenbau (ASB) und oberster Projektleiter für Nationalstrassenbrücken tritt auf Ende Juni in den Ruhestand. Die Autoren danken ihm für eine 20jährige vorbildliche Zusammenarbeit.

Allgemeine Voraussetzungen

Einführung

In letzter Zeit haben die *Schäden an Kunstbauten* im In- und Ausland in teilweise beängstigender Weise zugenommen. Da die Brücken bezüglich Beanspruchung, Verkehrssicherheit und Bedeutung eine hervorragende Stellung einnehmen, war ihre Erhaltung Gegenstand vieler Publikationen [1 bis 8] und Tagungen. So steht auch das IVBH-Symposium 82 vom 9./10.9.82 in Washington unter dem Thema «Unterhalt, Instandstellung und Sanierung von Brücken».

Während der Strassenunterhaltsdienst längst als eine allgemein anerkannte Notwendigkeit selbstverständlich geworden ist, wurde der bauliche Unterhalt der Brücken oft stiefmütterlich vernachlässigt. Leider ist noch heute die Ansicht, Betonbauten benötigen keinen Unterhalt, weit verbreitet.

In den folgenden Kapiteln wollen wir uns mit den Themen Brückenkontrolle, einigen typischen Mängeln, der Diagnose des Bauwerkszustandes und der Beschaffung der Grundlagen für eine Sanierung beschäftigen. Nach der Besprechung der wichtigsten Sanierungsmethoden möchten wir schliesslich an einigen typischen Beispielen zeigen, wie interessant und vielseitig der Brükkenunterhalt ist. Neben den neuen, in den letzten 20 Jahren insbesondere im Zuge des Nationalstrassenbaus entstandenen Kunstbauten besitzt der Aargau nämlich viele schöne ältere Brücken der verschiedensten Art und Bauweise [9].

Da Gemeinden oder angrenzende Kantone die alten Holzbrücken des Aargaus als Eigentümer betreuen, verfügen wir über keine grosse Erfahrung mit Holzkonstruktionen und möchten uns daher hier auf Stahl- und Massivbau beschränken.

Grundlagen und verantwortliche Instanzen

Verordnungen

Nach dem Einsturz der Reichsbrücke über die Donau in Wien hat das damalige Eidgenössische Amt für Strassen- und Flussbau (ASF), Bern, mit Rundschreiben vom 25.8.1976 an alle kantonalen Baudirektionen *erstmals daran erinnert,* dass die periodischen Inspektionen von Kunstbauten gemäss [10] alle 5 Jahre (mindestens jedoch alle 10 Jahre) vorzunehmen sind. Die praktische Durchführung ist in [11] beschrieben. Letztere wurde als anerkannte Regel der Technik durch die Verordnung des Bundesrates vom 21.8.62 über die Berechnung, die Ausführung und den Unterhalt der der Aufsicht des Bundes unterstellten Bauten (Baunormen-Verordnung) für verbindlich erklärt.

Die Durchführung der Untersuchungen, Probebelastungen und Nivellemente obliegt dem *Eigentümer.* Die eingehende Untersuchung ist durch geübte Fachleute unter Leitung des für die Brückenüberwachung und den Unterhalt verantwortlichen Ingenieurs mit geeigneten Mitteln durchzuführen und hat sich auf alle Teile des Bauwerks zu erstrecken. Art und Aufbau einer entsprechenden Organisation ist dem Eigentümer überlassen, der die Verteilung der Aufgaben am besten in einem *Pflichtenheft* regelt. Das Bundesamt für Strassenbau (ASB), Bern, hat dazu ein Musterpflichtenheft [12] herausgegeben, worin die hier verwendeten Begriffe «Überwachung», «betrieblicher Unterhalt» und «baulicher Unterhalt» unter Ziffer 1.3 definiert worden sind. Ausserdem arbeitet eine Kommission des ASB unter der Leitung von Herrn *E. Rey* an einer Musterweisung für Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten.

Im Bereich der Schweiz. Bundesbahnen gelten ähnliche Bestimmungen [13]. Auch in anderen Ländern bestehen ähnliche Grundlagen, als Beispiel seien der Bericht der OCDE [14] vom Juli 1976 sowie die deutschen Normen für Strassenbrücken [15] bzw. Bahnbrükken [16] genannt.

Organisation

Im Kanton Aargau ist gemäss Pflichtenheft der *Brückeningenieur* für Kontrolle und Unterhalt der Kunstbauten verantwortlich. Als Kunstbauten gelten Brücken (ab 3,00 m lichte Weite), Tunnels, Personenunterführungen und Passerellen. Bei den Nationalstrassenobjekten leistet der zuständige Strassenunterhaltsdienst Beihilfe und ist diesbezüglich dem Brückeningenieur direkt unterstellt.

Der *Chef Strassenbau* ist für die Kontrolle von rückverankerten Stützmauern und Rutschhängen verantwortlich, dabei assistiert je ein Ingenieur vom Brückenbau und von der Geotechnik.

Für den betrieblichen Unterhalt der Brücken sorgt der zuständige *Kreisingenieur.* Dazu gehören auch die Leitplanken und Schallschutzwände sowie die Bewilligung von fremden Leitungen, wobei er jedoch den Brückenbau konsultiert und dessen Bedingungen in den Revers aufnimmt.

Bauwerksdokumentation

Für eine wirksame Unterhaltung der Bauwerke ist eine möglichst lückenlose Dokumentation (wie in Art. 37.3 von [10] vorgeschrieben) unerlässlich. Wir wollen daher am Beispiel des Kantons Aargau etwas ausführlicher darauf eingehen.

Als erste Grundlage dient uns das Bauwerksverzeichnis; es enthält:

Bauwerks-Nr.
Strasse
Name des Bauwerks
Gemeinde
Innerorts/Ausserorts
Koordinaten
Eigentümer

Eine Brücke oder Unterführung ist Bestandteil jenes Verkehrsweges (Bahn, Strasse, Weg), den sie selbst aufnimmt. Sie gehört somit, falls nichts anderes vereinbart worden ist, dem gleichen Eigentümer, wie der Verkehrsweg selbst. Oft gilt aber das Verursacherprinzip, z.B. bei Nationalstrassen- und SBB-Brücken, die mit der Neuanlage der Bahn bzw. Strasse erstellt wurden. Bei Neubauten sollte man daher Eigentum und Unterhalt möglichst frühzeitig, z.B. mit der Kostenteilung, regeln.

Eine wichtige Dokumentation ist auch die *Bauwerkskartei*. Sie enthält nähere Angaben über Art, Bau, Änderungen und Verstärkungen des Bauwerks, Unterhaltspflicht, sowie Belastungsannahmen und Tragfähigkeit. Ausserdem werden die durchgeführten Kontrollen, Reparaturen und Sanierungen eingetragen. Während das *Bauwerksverzeichnis* in grosser Auflage an alle Beteiligten verteilt wird, ist von der Bauwerkskartei nur ein Exemplar vorhanden. Beides muss aber ständig nachgeführt und à jour gehalten werden.

Das *Brückenkataster* ist eine Dokumentation, welche die wichtigsten Angaben über jedes Bauwerk enthält; dazu gehören:

Abnahmeprotokolle
Brückenheft
Brückenskizze und Übersichtsplan
Kontrollberichte
Eigentumsregelung (Vertrag oder ähnliches)

Zur Dokumentation gehört natürlich auch das *Archiv* mit den nachgeführten Plänen, Statik, Geologie, Messprotokolle, Expertenberichte sowie Vorspann- und Betonprüfungsrapporten, Akten usw. Wünschenswert ist ein Übersichtsplan mit Angaben über verwendete Baustoffe, Produkte und Brükkenzubehör sowie ein Bericht der Bauleitung über die wichtigsten Vorkommnisse beim Bau.

Die Dokumentation muss möglichst frühzeitig begonnen werden. Projektverfasser und Bauleiter müssen mithelfen, dafür den Grundstein zu legen.

Überwachung der Kunstbauten

Die regelmässige Überwachung der Bauwerke hat den Zweck, eingetretene Mängel frühzeitig zu erkennen, um diese zu beseitigen, bevor grössere Schäden entstehen oder die Sicherheit gefährdet wird.



Bild 1. Fahrzeug und Gerät zur Brückenkontrolle

Periodische Untersuchungen

Bahn- und Strassenbrücken sind in der Regel alle 5 Jahre durch *«geübte Fachleute»* zu untersuchen [10]. Bei mehr als 600 Kunstbauten im Kanton Aargau lohnt sich schon der Einsatz eines Brükkenkontrolleurs mit entsprechendem *Fahrzeug und Gerät* (Bild 1).

Dazu gehört neben Leiter, Werkzeug und Signalisationsmaterial vor allem der Betonprüfhammer, das Set für den Karbonatisierungstest, Kamera mit Objektiven und Blitzlicht, Messgeräte für Schichtdicken und Haftung von Anstrichen oder Verzinkung, Riss-Lupe und Massstab, Kanalisationsspiegel, Wasserfärber (Fluoreszin), Gips oder Mörtel zum Risse versiegeln, ein Pachometer usw. Letzteres dient zur Kontrolle der Armierung. Ist der Durchmesser der Eisen bekannt, kann man die Stärke der Betonüberdeckung ablesen.

Die Kontrollen erfolgen nach Plan unter Leitung des für die Brückenüberwachung und den Unterhalt verantwortlichen Ingenieurs, der nach Bedarf zusätzliche oder spezielle Untersuchungen anordnet. Um das Verhalten des

Tabelle 1. Gruppierung der Bauwerke für die Intervalle der Setzungsmessung

Gruppe	*Bauwerk*	*Baugrund*	*Intervalle*
A	unempfindlich	gut	nur Null-Messung
B	empfindlich oder: unempfindlich	gut schlecht	alle 2–3 Jahre
C	empfindlich	schlecht	min. jährlich

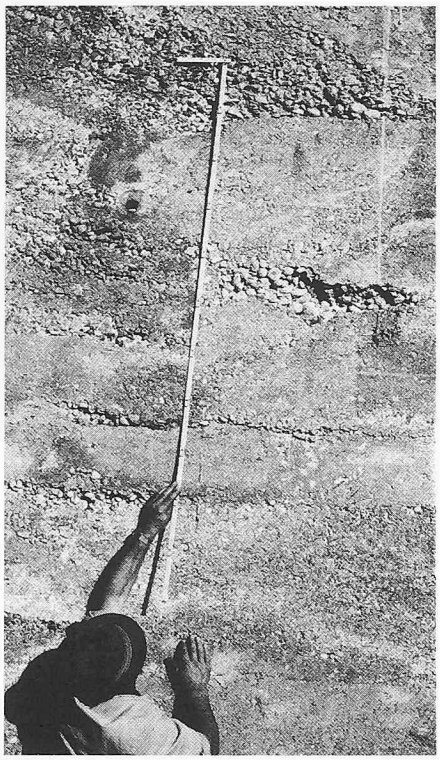


Bild 2. B-065 Hochbrücke Baden, Pfeiler. Schlecht verdichteter Stampfbeton. Man erkennt die eingebrachten Schichten. Foto EMPA 57492/15a (Bild 2 und 3 aus EMPA-Bericht Nr. 69 082 vom Okt. 69)

Bauwerkes als Ganzes zu überprüfen, kann auch eine Belastungsprobe zweckmässig sein. Dabei können neben Durchbiegungen auch die Spannungen mittels Dehnungsmessern gemessen werden.

Der Kontrolleur bzw. der Prüftrupp trägt die Kontrollen in die Bauwerkskartei ein und erstellt über Mängel mit Fotos dokumentierte Rapporte. Um diese Arbeit bei jedem Wetter direkt beim Objekt ausführen zu können, wird eine bequeme Schreibgelegenheit im Fahrzeug benötigt. Aus Sicherheitsgründen wäre erwünscht, dass zur Kontrolle von Kunstbauten mindestens zwei Mann eingesetzt werden.

Geometrische Kontrollen

Die geometrischen Kontrollen umfassen die Setzungsmessungen und die Deformationsmessungen. Sie werden meist durch Geometerbüros ausgeführt.

Bei den *Setzungsmessungen* unterscheiden wir drei Gruppen (Tabelle 1). Lassen bei einem Objekt der Gruppe C die Setzungen nach, kommt es in Gruppe B; sind bei einem Objekt der Gruppe B die Setzungen abgeklungen, kommt es in die Gruppe A.

Die *Deformationsmessungen* beschränken wir auf vorgespannte und grössere Brücken. Dabei wird vor allem die Durchbiegung in Feldmitte überprüft. Bei Grossbrücken oder Rutschhängen laufen zudem spezielle Messprogramme. Dabei ist die Durchbiegungsmessung ein wirksames Mittel zur Entdekkung versteckter Mängel, insbesondere unsichtbare Risse, mangelhafte Betonqualität, Mängel an der Vorspannung oder schlechte Haftung zwischen Beton und Stahl.

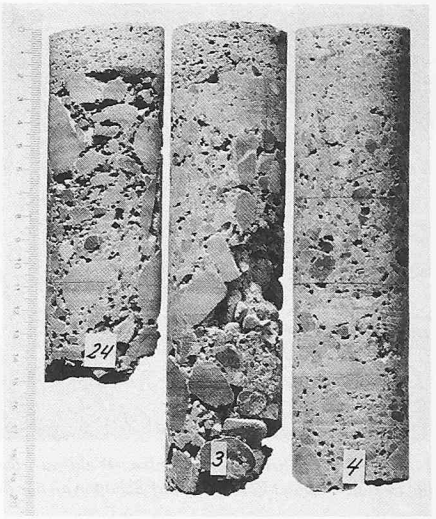


Bild 3. B-065 Bohrkerne aus Stampfbeton, Baujahr 1925. Foto EMPA 57751

Materialprüfung

Bei allen Schäden an Betonkonstruktionen spielt die *Betonqualität* eine wesentliche Rolle. Äussere Kiesnester und Porosität werden durch ein geübtes Auge leicht erkannt (Bild 2). Durch Abklopfen mit dem Hammer oder Ritzen mit einem scharfen Gegenstand erhält man ein erstes grobes Bild. In Zweifelsfällen wird die Festigkeit mit dem Prüfhammer gemessen.

Werden genauere Materialprüfungen erforderlich, müssen Proben entnommen und von einem Labor untersucht werden (Bild 3).

Typische Schäden an Kunstbauten

Obwohl der mit dem baulichen Unterhalt beschäftigte Fachmann immer wieder mit neuen Variationen von Schäden konfrontiert wird, lassen sich doch *einige häufig wiederkehrende* Mängel herausschälen. Infolge der starken direkten Belastung durch den Verkehr ist die Lebensdauer des Brückenbelages verhältnismässig kurz. Die Brückenoberfläche soll daher zuerst behandelt werden.

Abdichtung, Belag, Entwässerung

Oft fallen zuerst die *Schäden an der Belagsoberfläche* ins Auge. Sie treten häufig in jenen Bereichen auf, die maschinell nicht oder nur schlecht verdichtbar sind, wie bei Fahrbahnübergängen oder infolge starker Beanspruchung, z. B. bei Stops, Ampeln, Bushaltestellen usw. Meist sollte aber, bevor man Belagsreparaturen ausführt, geprüft werden, ob nicht auch Mängel an der Dichtung oder sogar an der Fahrbahnplatte vorhanden sind. Anzeichen dafür sind oft rosettenförmige Risse (Bild 4). Am besten erkennt man Undichtigkeiten bei Regenwetter, und zwar von unten. Mit Hilfe von gefärbtem Wasser kann man der Ursache nachgehen und auch feststellen, ob diese auf Mängel der Abdichtung oder der Entwässerung beruhen.

Bisher wurden die Brücken im Kanton Aargau mit wenigen Ausnahmen mit einer *schwimmenden Gussasphaltdichtung* mit Zusatz von Travers-Naturasphalt versehen. Wo die Dichtung älteren Normen entsprechend nicht unter Randsteinen und Inseln durchgeführt oder an den Rändern nicht einwandfrei und dicht angeschlossen worden ist, sind Schäden an Kittfugen oder am Mörtelbett der Randsteine aufgetreten. Ausserdem sind im Gehwegbereich, wo der Gussasphalt 25 mm stark einschichtig eingebaut wurde, häufig Blasen entstanden.

Nachträglich schwer zu korrigieren ist *ungenügendes Gefälle* bzw. wenn der Abfluss nicht einwandfrei gewährleistet ist und sich örtlich Pfützen bilden. Besonders kritisch sind die tiefsten Punkte von Mulden im Längenprofil oder vor den Fahrbahnübergängen.



Bild 4. B-003 Rheinbrücke Koblenz-Waldshut. Rosettenförmige Risse im Belag deuteten vor der Sanierung auf Schäden an der Betonoberfläche

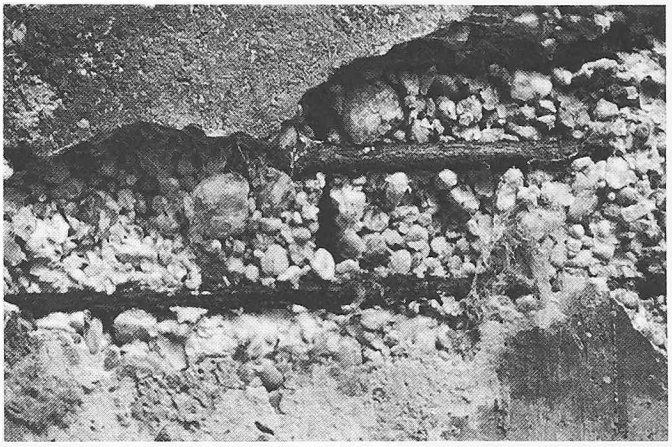


Bild 6. Zu geringe Überdeckung und mangelhafte Betonqualität führen zu Abplatzungen infolge Rosten der Eisen

Ebenso wichtig wie eine gute Entwässerung der Brückenoberfläche und des Belages ist das einwandfreie Funktionieren der *Entwässerung von Hohlräumen, Hohlkästen und Widerlagern.* Bei nicht luftdicht abgeschlossenen Hohlräumen, wie z. B. bei geschweissten Kastenprofilen oder Cofratolrohren, die zur Gewichtsreduktion in den sechziger Jahren viel verwendet wurden, kann sich Kondenswasser ansammeln, sofern sie nicht einwandfrei entwässert worden sind. Alle Brücken mit Cofratolrohren mussten daher angebohrt werden.

Das Spülen der Entwässerungen und Drainagen erfolgt zweckmässigerweise durch den dafür ausgerüsteten Strassenunterhaltsdienst. Dieser meldet selbstverständlich besondere Vorkommnisse dem Brückenunterhalt.

Bild 5. Risse in der Konsole einer Überführung über die N3 bei Rheinfelden. Ansicht von unten



Betonschäden

Da Betonkonstruktionen, insbesondere aus Stahl- oder Spannbeton, überwiegen, möchten wir die typischen Betonschäden etwas eingehender behandeln. Dazu gehören vor allem die Rissbildung, die Karbonatisation und die Frost- und Tausalzschäden.

Rissbildung

Da der Stahlbetonbau bekanntlich eine «gerissene Bauweise» ist, sind Risse häufig und oft unvermeidlich. Feine, gut verteilte Haarrisse sind, wenn sie nicht direkt Salz und Witterung ausgesetzt sind, meist harmlos und sollten vom Brückeninspektor nicht aufgenommen werden.

Da die Bedeutung von *groben Rissen* am Bauwerk (Bild 5) meist nicht ohne weiteres beurteilt werden kann, sind diese zunächst alle aufzunehmen und die Rissbreite zu messen.

Karbonatisierung

Die Karbonatisierung ist ein chemischer Alterungsprozess [5], welcher langsam von aussen nach innen vordringt. Während die Betonqualität durch Zunahme von Dichte und Härte verbessert wird, verliert der Beton an Alkalität und damit die Fähigkeit, Eisen vor Rost zu schützen.

Erreicht die Karbonatisierung die Eisen, so beginnen diese zu rosten, wobei das erheblich zunehmende Volumen den Beton absprengt. Beim Abklopfen des Betons lässt sich dann ein hohler Klang feststellen. Lässt sich der Beton schon in Schollen abschlagen oder fällt er von selbst herunter, wird eine Reparatur meist schwierig und Abbruch und Neubau sind oft unvermeidlich (Bild 6).

Das *Fortschreiten der Karbonatisierung* hängt von Betonqualität, eventuellen Schutzschichten sowie von der Qualität der Luft ab. Um rechtzeitig Vorbeugungsmassnahmen zu treffen, möchte man von allen Bauwerken wissen, wie weit die Karbonatisierung vorgedrungen ist.

An der Oberfläche ist der *Karbonatisierungstest* mittels einer Flüssigkeit (Phenolphthaleinlösung) sehr einfach. Diese färbt sich rot, solange der Beton noch genügend alkalisch ist (pH-Wert >9,5). Um die Tiefe festzustellen, sind aber Zerstörungen, z. B. Kernbohrungen, Abspitzen oder vorhandene Abplatzungen, unvermeidlich. Diese Tests müssen daher auf verdächtige Objekte beschränkt bleiben.

Andererseits ist die *genügende Eisenüberdeckung* (mindestens 3 cm und gegen Erdreich 5 cm) ebenso wichtig und sollte mit dem Pachometer kontrolliert werden.

Bei nicht genügender Überdeckung oder porösem Beton kann die Lebensdauer durch zweckmässigen Oberflächenschutz erhöht werden. Dabei sollte man vermeiden, dass durch Abdichten der Unterfläche (Bild 27) Wasser und Salz im Beton aufgestaut werden.

Frost- und Frosttausalzschäden

Frost- und Frosttausalzschäden erkennt man an den Abplatzungen und Zerstörungen der Betonoberfläche. Dringt das Salz tiefer ein, kann es, insbesondere im Zusammenhang mit der Karbonatisation, ausserdem ein beschleunigtes Rosten der Eisen verursachen. Besonders gefährdet sind Teile, die wie die Konsolköpfe oder Betonbrüstungen der Witterung und dem salzhaltigen Spritzwasser direkt ausgesetzt sind.

Während dieses Problem für die Betonstrassen durch die Entwicklung eines frosttausalzbeständigen Betons weitgehend gelöst werden konnte, ist es für Stahl- und Spannbeton-Tragwerke weit vielschichtiger.

Grundsätzlich garantiert ein frosttausalzbeständiger Beton noch keine Rissfreiheit, im Gegenteil, durch die reduzierte Festigkeit steigt die Rissgefahr eher an. Auch die Karbonatisation wird nicht wesentlich gebremst.

Daher wird frosttausalzbeständiger Beton im allgemeinen nur in Bereichen, die dem Tausalzangriff - wie Konsolköpfe und Brüstungen - direkt ausgesetzt sind, angewendet. Dabei muss gleichzeitig der Vermeidung von Rissen ebenso wie einer genügenden Überdekkung der Eisen volle Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Brandfälle

Wir hatten bereits zweimal mit *erheblichen Brandschäden* an Brücken zu tun. In einem Falle wurde unter einer grossen Betonhochbrücke mit mehreren Bögen ein Robinsonspielplatz eingerichtet. Eines Nachts brannte eine an einen Pfeiler gelehnte Holzhütte ab.

Ein anderes Mal wurde ein unter einer Autobahnunterführung parkierter Heuwagen angezündet. Die Abplatzungen an Wand und Decke waren so stark, dass eine Fahrbahn gesperrt werden musste (Bild 7).

In beiden Fällen musste der zerstörte Beton entfernt und durch neuen Torkretbeton (Spritzbeton) ersetzt werden. Beim Betonrahmen der Autobahnbrükke wurden zudem die entstandenen Risse mit einer Gelmasse (Bild 17) injiziert, der 10 cm starke Betonbelag entfernt und durch eine Dichtung mit bituminösem Belag ersetzt.

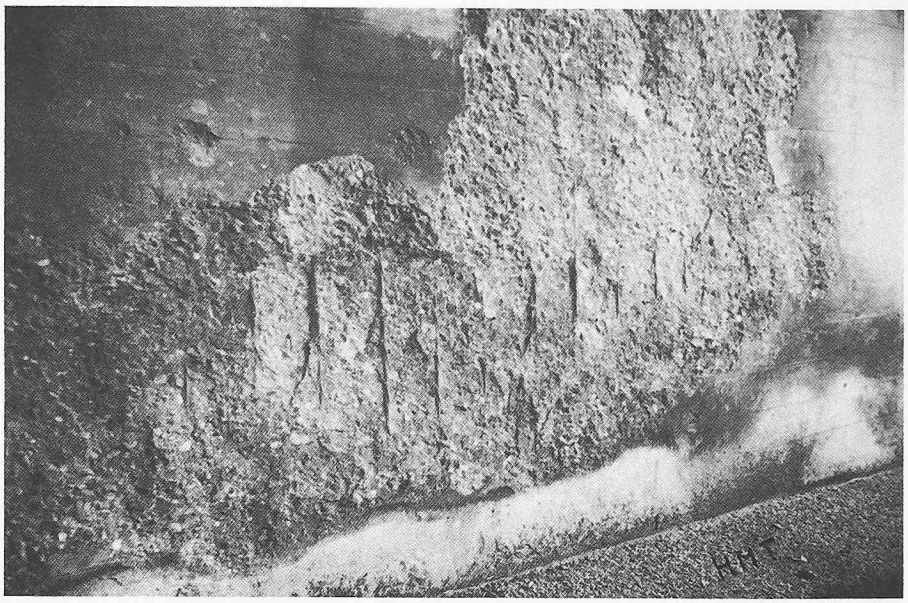


Bild 7. So sahen die Wände einer Unterführung unter der N3 in Rheinfelden nach dem Brand eines dort abgestellten Heuwagens aus

Schäden an Stahlkonstruktionen und Rostschutz

Typische Mängel an Stahlbauten sind *lose Nieten oder Schrauben* sowie *Risse*. Bei geschweissten Konstruktionen treten Risse meist im Bereich der Schweissnähte auf, oder sie gehen von diesen aus. Wenn der Riss aus statisch-dynamischer Sicht tolerierbar ist, wird er abgebohrt. Dabei soll mit einem kleinen Bohrloch am Ende des Risses ein Weiterreissen verhindert werden.

Wesentlich ist auch die Stahlqualität, z. B. wurde bis etwa 1890 mit Schweisseisen gebaut, das zu Doppelungen und Sprödbrüchen neigt und daher nicht geschweisst werden darf. Dagegen ist der Walzstahl im allgemeinen problemlos, vorausgesetzt, dass der *Rostschutz in Ordnung gehalten wird*. Damit bei sogenannten wetterfesten Stählen ohne Korrosionsschutz rechtzeitig ein Schutzanstrich angebracht wird, muss der Abrostungsgrad unter Kontrolle gehalten werden.



Bild 8. B-001 Stahlfachwerkbrücke über den Rhein, Kaiserstuhl. Rostschäden mit Unterrostung der Lamellen infolge zu grosser Nietabstände

Bei alten Brücken mit *ausserhalb der Fahrbahn angeordneten Fachwerkträgern* sammelt sich in den unteren Knoten- und Lagerbereichen durch hinunterfallenden Dreck, Schnee und Salz gerne Schmutz an, welcher salzhaltig und immer feucht ist. Wird dies während Jahren so belassen, sind starke Rostschäden oder gar das Durchrosten ganzer Knotenbleche unvermeidlich. Um diese Folgen zu verhindern, wäre eine *gründliche Reinigung nach jedem Winter* zu empfehlen.

Sind *bei genieteten Lamellenpaketen* der Zug- bzw. Druckzone die Nietabstände zu gross, kann sich zwischen den einzelnen Flachstählen Rost bilden (Bild 8). Dadurch «quellen» die Gurten durch die etwa 6fache Volumenvergrösserung auseinander und sind nur noch an den Nietstellen zusammengehalten. Durch den sich innerhalb des Gurtes aufbauenden Druck (Volumenvermehrung) sind die Nieten vermehrt auf Zug beansprucht und somit gefährdet.

Die winterliche Belastung durch Splitt und Tausalz ist für *Stahlteile neben der Fahrbahn* gefährlich. Die unter den Fahrzeugrädern herausspickenden Steinchen treffen zum Teil wie kleine Geschosse auf die Konstruktion und können den Farbfilm durchschlagen [17]. Der somit blanke Stahl, anfänglich zwar fast unsichtbar klein, ist der Witterung und dem Salz wehrlos ausgesetzt. Die rund um die freiliegende Stelle einsetzende Unterrostung (= Rost unter dem intakten Farbanstrich) führt dazu,



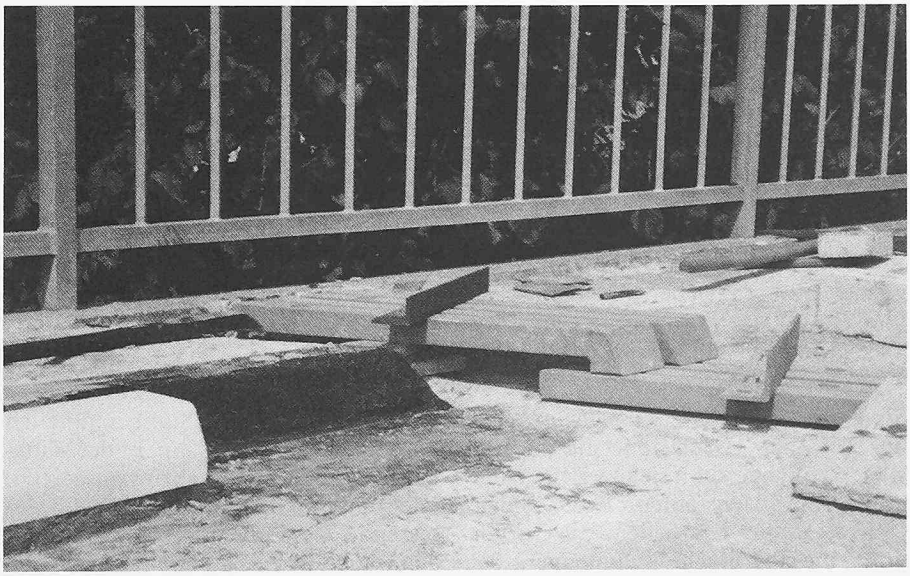
Bild 9. B-001, Verrostete Zoreseisenfahrbahn. Untersicht, mit Längsträger (links)

dass Rostschäden innerhalb weniger Jahre an einem etwa 1 m hohen Streifen der Stahlkonstruktion sichtbar werden.

Ein typischer Schaden ist auch das *Abblättern des Anstriches*. Mindestens zwei Ursachen können dazu führen, wenn wir die chemische Unverträglichkeit der vorhandenen Farben ausschliessen. Die eine Möglichkeit, die Unterrostung, wurde weiter oben bereits erwähnt. Eine weitere, leider recht häufige Ursache liegt in fehlerhafter Applikation des Anstriches - meistens Spritzverfahren auf staubigem oder taufeuchtem Untergrund!

Schliesslich seien die früher viel verwendeten *Zoreseisenfahrbahnen* erwähnt, welche nicht mehr den heutigen Anforderungen genügen. Da sich die einzelnen Eisen unter der beweglichen Last unabhängig durchbiegen, muss jeder Belag und jede Dichtung reissen. Andererseits kann der Korrosionsschutz nur von unten erneuert werden. Bild 9 zeigt als Beispiel die verrostete Zoreseisenfahrbahn der Rheinbrücke Kaiserstuhl, deren zulässige Belastung bereits 1973 auf 16 t beschränkt werden musste. Nachdem die Untersuchungen gezeigt haben, dass es sich um Schweissstahl aus dem Jahre 1882 handelt, kann die Brücke, welche wir vor 10 Jahren von den Gemeinden Kaiserstuhl und Fisibach übernommen haben, nicht mehr saniert werden. Nach langjährigen Verhandlungen mit den dies- und jenseits des Rheins zuständigen Behörden, inkl. Denkmal-, Heimat- und Naturschutz, soll der Überbau unter Verwendung der alten Widerlager und Pfeiler demnächst durch eine neue Stahlverbundbrücke ersetzt werden.

Bild 10. Überführung B-235 Tegerfelden. Nachträglicher Einbau von Stahlschwellen im Zuge der Dichtungs- und Belagssanierung 1976. Diese 44 m lange, schiefe, vorgespannte Platte mit eingespannter Mittelstütze war 1953 ohne Fahrbahnübergänge erstellt worden



Brückenzubehör

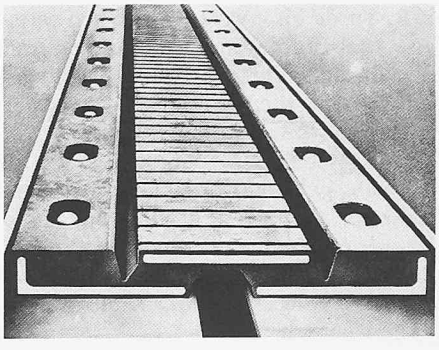
Zum Brückenzubehör wollen wir Stahlteile wie Lager, Fahrbahnübergänge sowie Leiteinrichtungen und Geländer zählen. Dabei ist das Rostschutzproblem bereits zuvor behandelt worden.

Bei allen diesen Elementen sind die *Übergänge zum Beton* anfällig für Mängel, bei den Lagern die Unter- oder Überstopfung, bei den Pfosten der Abschrankung das Vergiessen und der dichte Abschluss der Einspannung.

Bei den *Fahrbahnübergängen* kommt es vor allem auf den guten Sitz, d. h. gutes Unterstopfen mit möglichst schwindarmem Material an. Als Fahrbahnübergänge haben sich massive, gut verankerte Stahlkonstruktionen, die nicht federn, bewährt. Leichte Abschlusswinkel sind dem heutigen Schwerverkehr nicht gewachsen und mussten ausgewechselt oder durch fugenlose Konstruktionen ersetzt werden. Zum nachträglichen Einbau haben sich aufgedübelte volle Stahlschwellen (Bild 10) mit einem Neoprenprofil oder Gummiteppiche, z. B. Transflex (Bild 11), die wir neuerdings auch bei Neubauten mit gutem Erfolg verwenden, bisher gut bewährt. An einem grossen Fahrbahnübergang (3 Schläuche), dessen Traversen mit Schrauben aufgehängt waren, ist ein Ermüdungsbruch aufgetreten. Dieser wurde mit eingefrästen Verstärkungen geschweisst, was nur wenige Jahre gehalten hat.

Bei den *Lagern* kann man zwischen Stahllagern, Elastomere-Topflagern und Teflongleitlagern unterscheiden. Obwohl wir im Kanton Aargau relativ wenig Lager haben, treten häufig Schä-

Bild 11. «Transflex»-Fahrbahnübergang als Beispiel für eine moderne Gummiteppichkonstruktion



den auf. Beispielsweise muss die Stellung revidiert werden (Bild 12), oder Neoprenlager verspröden und müssen ausgewechselt werden. In einigen Fällen wurden Töpfe, bei denen Plastikdichtungsringe verwendet worden waren, undicht. Auch sind Mängel infolge Verschieben oder Verschleiss von Teflonschichten aufgetreten.

Schäden entstehen auch, wenn Lager, Fahrbahnübergänge oder die Dilatationen der Abschrankungen sich nicht genügend frei bewegen können.

Vorspannungsschäden

An der Vorspannung können Schäden im Bereich von Koppelfugen, bei den Verankerungen, an Stellen plötzlicher Umlenkung und bei zu geringer Überdeckung oder durch mangelhafte Injektion entstehen. Durch das letztere und die daraus folgende Korrosion reissen die dünnen Drähte, und die Vorspannung wird reduziert. Die Erkennung eines solchen Mangels ist *relativ schwierig*. Reisst oder versagt ein grösserer Teil der Vorspannung, entstehen Deformationen bzw. Durchbiegungen, welche, wenn sie nicht durch periodische Nivellements rechtzeitig erkannt werden, zum Einsturz führen können.

Im Kanton Aargau sind derartige Schäden noch nicht aufgetreten. Kleinere Mängel, die beim Bau, z. B. durch verstopfte Hüllrohre, auftraten, wurden sofort behoben. Dank einer sorgfältigen Überwachung waren keine weiteren Folgen festzustellen.

Schäden an Mauerwerk

Häufig treten bei Mauerwerk *Schäden an den Fugen* auf. Diese müssen dann ausgestemmt und neu vermörtelt werden. Ist der Mörtel der Fugen durchgehend brüchig oder zerstört, muss die Überschüttung wie bei der nachstehend beschriebenen Sanierung der Zeiherbachbrücke in Hornussen entfernt (Bild 26) und die Fugen mit einem Vergussmörtel ausgegossen werden.

Je nach Alter und Qualität können die *Steine* mit der Zeit zerfallen, abbröckeln oder abplatzen. Es ist dann zu prüfen, ob es sich noch lohnt, das lose Material zu entfernen und eine Betonschicht aufzutorkretieren.

Die alten Bogenbrücken sind oft überdimensioniert und brauchen daher weniger Unterhalt. Dagegen muss man die *aus der Neuzeit stammenden,* oft nur mit Steinen verkleideten oder aus Betonsteinen gemauerten Brücken hegen und pflegen. Obwohl diese häufig ähnlich massiv aussehen, können die Tragreserven gering oder durch die neuen Lasten erschöpft sein. Auch wurden die Bogenbrücken seinerzeit wie z. B. die Rheinbrücke Laufenburg (Objekt B-004) ohne Dichtung der meist ursprünglich als Schotterstrasse ausgebildeten Fahrbahn ausgeführt. Bei dieser aus Betonsteinen 1911 durch Maillart erbauten Brücke sind zudem infolge Zusammenwirken Brüstung/Bogen starke Verschiebungen (Bild 13) der Brüstungssteine aufgetreten. Sie wird noch in diesem Jahr eine neue Stahlbetonfahrbahn mit Dichtung und Belag sowie fest anbetonierter, armierter Brüstung erhalten. Dabei soll mit Hilfe von Scheinfugen und entsprechend strukturiertem Beton das alte Bild wieder hergestellt werden.

Besonders empfindlich sind auch Bogenbrücken mit geringer Überdeckung. Bild 14 zeigt als Beispiel die Untersicht der Aabachbrücke, Lenzburg, bei der ein Stein im Scheitel herausgedrückt worden ist.

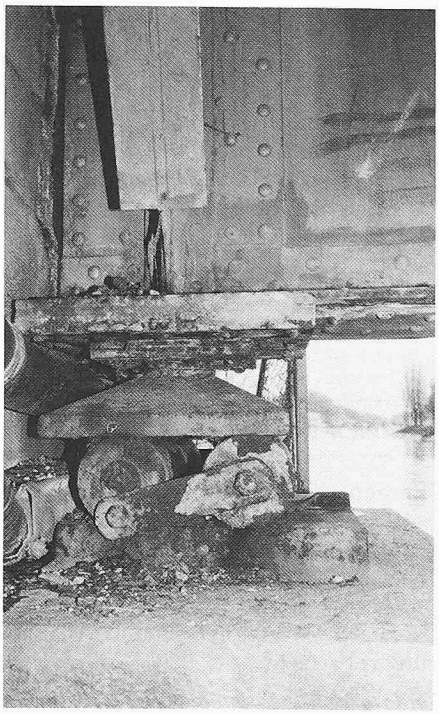


Bild 12. Diese Lager müssen dringend gerichtet und in Ordnung gebracht werden (Reussbrücke B-055, Mellingen)

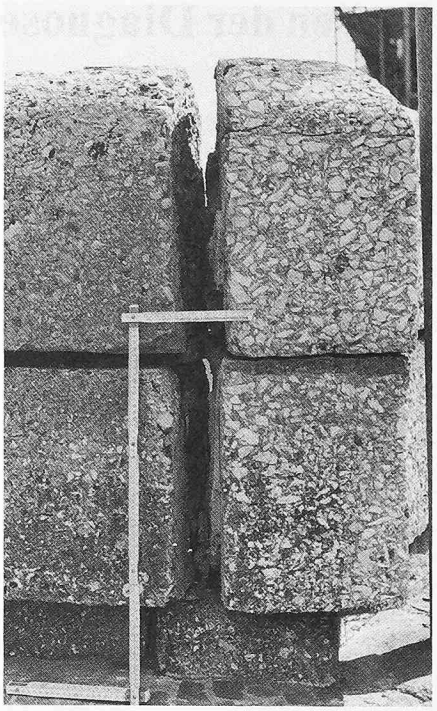


Bild 13. Aus Betonsteinen gemauerte Bogenbrücke B-004, Laufenburg. Durch Zusammenwirken mit dem Bogen verschobene Brüstungen

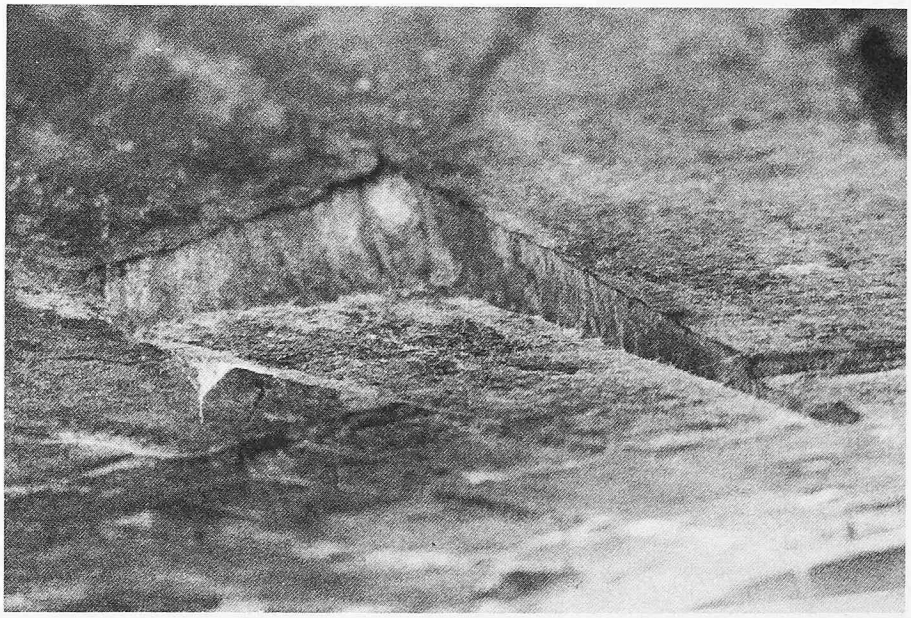


Bild 14. B-582 Aabachbrücke, Lenzburg. Infolge geringer Überdeckung und schlechter Vermörtelung wurde ein Stein im Scheitel um etwa 6 cm herausgedrückt

Stellen der Diagnose

Grundsätzlich sollten an einem Bauwerk keine Arbeiten ohne eine *fachmännische Diagnose* ausgeführt werden.

Während es bei neueren Bauwerken meist nur um die Feststellung und Sanierung von Schäden geht, sind bei älteren Objekten häufig *umfangreichere Abklärungen* erforderlich. Neben einer gründlichen statisch-konstruktiven Überprüfung müssen oft Verbreiterungen oder Verstärkungen für erhöhte Lasten mit in Erwägung gezogen werden. Zu diesem Zweck muss zunächst je nach Art und Umfang der Schäden ein Sachbearbeiter oder ein Ingenieurbüro (z.B. der Projektverfasser) eingesetzt werden.

Notfalls sind *Sofortmassnahmen,* wie Reduktion der zulässigen Belastung, Einspurbetrieb oder gar Totalsperrung anzuordnen.

Zustand des Bauwerkes

Die *Kontrollberichte* müssen begutachtet und das weitere Vorgehen besprochen werden. Oft sind *zusätzliche Untersuchungen,* wie Entnahme von Proben oder zerstörungsfreie Prüfungen [18], Nivellements sowie ein Studium der Akten, Pläne und statischen Berechnungen erforderlich. Wenn möglich sollten auch die Ursache der Schäden und eventuelle Garantieansprüche abgeklärt werden. Bei neueren Objekten sollte der Projektverfasser bzw. der Bauunternehmer beigezogen werden.

Bei *Belagsschäden* kann man kritische Stellen öffnen, um Abdichtung und Betonoberfläche zu prüfen oder Proben zu entnehmen. Eventuell sind zusätzliche Messungen oder eine Belastungsprobe sinnvoll. Bei *Betonabplatzungen oder Hohlstellen* sollten unbedingt Karbonatisationstests angeordnet werden.

Statisch-konstruktive Prüfung

Werden Unregelmässigkeiten oder Schäden festgestellt, so ist eine Prüfung aufgrund der Statik und der Pläne unerlässlich. Schwere Schäden sind oft durch eine *Kombination* von Mängeln bei Statik, Konstruktion und Ausführung verursacht.

Die *statisch-dynamischen Einflüsse* sind zur Beurteilung von Rissen und Qualitätsmängeln von grosser Bedeutung, z. B. ist es wesentlich, ob man sich im Zug-, Druck- oder Wechselbereich befindet. Häufig sind Schäden darauf zurückzuführen, dass das statische Zusammenwirken, z. B. von Flügelmauern und Widerlagern oder von Bogen, Fahrbahn und Stirnmauern (Bild 13), vernachlässigt oder nicht richtig erfasst wurde.

Die Ursache von Rissen ist manchmal eine nicht ausreichende oder falsch angeordnete *Armierung.* Oft liegen z. B. die Bügel einer Spreizarmierung nicht am vorgesehenen Ort oder die Armierung folgt nicht der Richtung der Zugspannungen. Viele Risse sind auf die Sprengwirkung von Rost oder Eis zurückzuführen, insbesondere wenn das Wasser nicht einwandfrei entspannt und abgeleitet wird oder in Dampfform verdunsten kann. Bei der Stahlbetonplatte einer Stahlbrücke über den Rhein in Waldshut, deren Erneuerung später beschrieben wird, hatten die seinerzeit üblichen einfachen Berechnungsannahmen *zu durchgehenden Rissen* geführt.

Toleriert werden Risse in Scheinfugen, z. B. in Rahmenwänden (Bild 15). Bei längeren Wänden kann es durchaus zweckmässig sein, Fugen, welche besonders in der Fahrbahnplatte unerwünscht sind, zu vermeiden und statt dessen die Risse durch Scheinfugen zu lokalisieren (Bild 16).

Steigende Lasten oder neue Schwertransportrouten machen die *Nachrechnung* vieler Brücken erforderlich. Dabei wurde bei einer Überführung über die N1 das Fehlen der Querträgerarmierung über der Mittelstütze festgestellt. Nach dem Entfernen von Belag und Abdichtung traten die vermuteten Risse zutage. Oft ist auch vor Abbruch oder Abspitzen wesentlicher Teile eine Nachrechnung der Bauzustände erforderlich.

Wichtig ist auch, dass vor der Anbringung von Verstärkungen die Veränderung des statischen Systems und dessen Einfluss auf Kraftfluss und Spannungen überprüft werden (vgl. das Beispiel B-021, Aarebrücke Aarburg).

Bei der Nachrechnung älterer Brücken kann notfalls anstelle der Normlasten mit den heute *zum Verkehr zugelassenen Fahrzeugen* gerechnet werden. Da der Einfluss des Eigengewichtes meist überwiegt, treten oft nur geringe Über-

Bild 15. Scheinfugen zur Lokalisierung der Schwindrisse in langen Wänden einer Stahlbeton-Rahmenunterführung

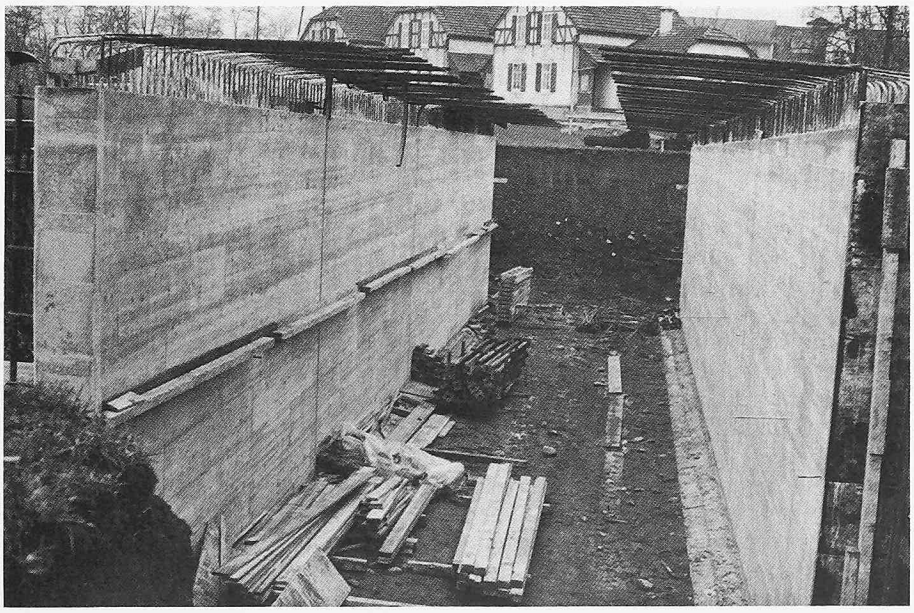
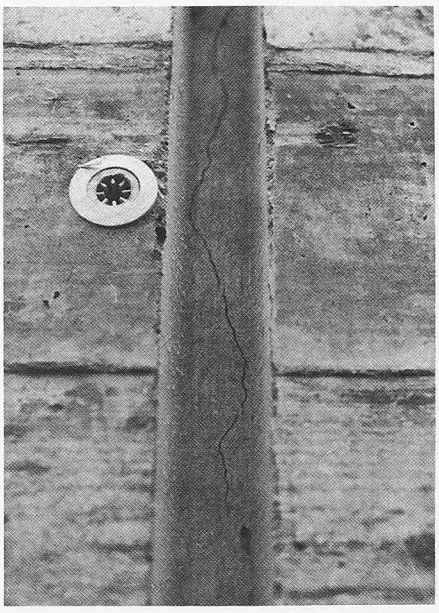


Bild 16. Detail des erwarteten Risses in der Scheinfuge von Bild 15



schreitungen der zulässigen Spannungen auf, die für relativ unwahrscheinliche Lastkombinationen toleriert werden können. Es wird daher relativ selten notwendig, eine Reduktion der zulässigen Belastung einer Brücke zu signalisieren.

Ausbauwünsche

Bevor grössere Sanierungen älterer Kunstbauten geplant werden, ist abzuklären, ob die *Geometrie* den heutigen Anforderungen noch genügt. Oft sind alte Brücken zu schmal, oder es fehlen noch Geh-, Rad- oder Parallelwege. Manchmal ist auch eine neue Strasse geplant und der Abbruch ohnehin vorprogrammiert. Auch auf die geplanten Ausbauten der Bahnen, Gewässer oder der unterführten Strasse ist Rücksicht zu nehmen.

Es kann passieren, dass dementsprechende Projekte erst noch erstellt werden müssen und dann jahrelange Planungen und Variantenstudien auslösen.

Kosten-Nutzen-Analyse

Nachdem der Zustand des Bauwerkes analysiert und die Ausbauwünsche bekannt sind, gilt es abzuklären, *wie* das Bauwerk am besten saniert werden kann.

1. Genügt eine einfache Reparatur?
2. Sind vorbeugende Massnahmen zu treffen?
3. Sanierung mit oder ohne Ausbau
4. Ganz- oder teilweise Erneuerung

Die Wahl ist aufgrund einer ersten Kosten-Nutzen-Analyse zu treffen. Eine grosse Rolle spielt dabei die Frage, wie der Verkehr während der Ausführung behindert wird oder ob er umzuleiten ist. (Ist Einspurbetrieb mit Lichtsignal notwendig bzw. möglich oder müsste mit einem Verkehrszusammenbruch gerechnet werden? Sind Aus- und Umwege vorhanden bzw. zumutbar? usw.)

Wenn mit vernünftigem Aufwand möglich, wird man sich bemühen, schöne oder historisch wertvolle alte Bauwerke oder Teile davon, wie z. B. Widerlager, Stützmauern oder Pfeiler, im Interesse des Heimatschutzes *zu erhalten*.

Erst wenn die *Absicht des Bauherrn* einigermassen umrissen und deren Realisierbarkeit abgeklärt ist, kann mit der Ausarbeitung eines Sanierungs- bzw. eines Um- oder Neubauprojektes begonnen werden. Dauern die Abklärungen zu lange oder wird die Realisierung des Projektes aus anderen (z.B. finanziellen oder rechtlichen) Gründen zu sehr verzögert, ist abzuklären, ob Sofortmassnahmen ergriffen werden müssen.

Sanierungsmethoden

In diesem Kapitel wollen wir versuchen, die wichtigsten Sanierungsmethoden kurz zusammenzufassen.

Abdichtung bzw. Oberflächenschutz

Abdichtung und Belag

Im Kanton Aargau, wo seit 10 Jahren mit einer Stärke von 10 cm für Dichtung, Ausgleichsschicht und Deckbelag auf Brücken gerechnet wird, sind wir, insbesondere bei mangelndem Gefälle, dazu übergegangen, *wasserdichte* (Gussasphalt) oder zumindest *porenarme* (Hot rolled) *Beläge* einzubauen. Zu diesem Zweck muss der alte Belag abgefräst werden. Diese Beläge sind zwar etwas teurer, haben aber eine längere Lebensdauer. Dabei wird auch der Gussasphalt neuerdings maschinell eingebaut.

Ist auch die *Ausgleichsschicht defekt,* lässt sie sich meist ohne Beschädigung der Dichtung nicht entfernen. Dann ist es zweckmässig, schwimmende Dichtungen mit herauszureissen und zu erneuern. Wird auch die Ausgleichsschicht mit Gussasphalt ausgeführt, kann die Belagsentwässerung entfallen. Gleichzeitig entfällt die Gefahr, dass die Feuchtigkeit das Bitumen über der Dichtung angreift und die Ausgleichsschicht aufweicht oder von der Dichtung ablöst.

Oft mussten wir nachträglich die Gussasphaltdichtungen an den Rändern aufkleben und mit Entlüftungsröhrchen bzw. Entwässerungsröhrchen an den tiefsten Punkten versehen. Gleichzeitig wurde die Dichtung mittels Asphaltmastix oder Dichtungsbahnen *unter Randsteinen und Inseln durchgeführt* und diese mit frosttausalzbeständigem, d.h. kunststoffvergütetem Zementmörtel neu versetzt. Die Tatsache, dass bei den nur 25 mm starken einschichtig eingebauten Gussasphaltbelägen auf den Gehwegen häufig Blasenbildungen auftreten, hat dazu geführt, dass wir heute *auch auf den Trottoirs* 45 mm Gussasphalt mit zweischichtigem Einbau vorsehen. Beidseits der Fahrbahnübergänge, wo der Belag nicht maschinell oder nur von Hand behelfsmässig verdichtet werden kann, werden auf stark befahrenen Brücken Gussasphaltstreifen eingebaut.

Aufgeklebte Abdichtungen, wie Dichtungsbahnen [19], oder aufgespritzte Dichtungen, wie z.B. Efkaprene mit Gussasphaltaufbau (siehe das Beispiel über die Erneuerung der Betonplatten der Rheinbrücke Waldshut), wurden bei uns erst in letzter Zeit angewendet. Vorteile bieten sie besonders bei Steilstrecken oder vor Lichtsignalen bzw. bei Mangel an verfügbarer Höhe. Sie setzen aber eine gut ausgetrocknete Oberfläche und gutes Wetter beim Einbau voraus.

Korrosionsschutz

Im Gegensatz zu früheren Zeiten, als der Korrosionsschutz immer aus Bleimennige und Glimmerfarbe bestand, ist heute eine *Vielzahl von Anstrichaufbauten* möglich. Es sei hier allein auf die Möglichkeit der Ein- und Zweikomponentenfarben hingewiesen. Den richtigen resp. bestgeeigneten Farbaufbau zu wählen ist nicht immer einfach.

Auf jeden Fall müssen die Anforderungen, die an den Korrosionsschutz gestellt werden, oder sogar die Produkte gezielt im Angebotsformular vorgeschrieben werden. Damit die auszuführenden Arbeiten die erwünschte Qualität erreichen, ist eine intensive Überwachung durch Spezialisten unerlässlich.

Im Kanton Aargau wurde in den letzten zwanzig Jahren pro Jahr mindestens 1 Stahlbrücke komplett oder teilweise mit *neuem Korrosionsschutz* versehen. Die dabei gemachten Erfahrungen seien nachstehend kurz geschildert.

Weil die Arbeiten im Freien ausgeführt werden müssen, sind die *Witterungsverhältnisse,* besonders der Taupunkt (Kondenswasser), zu beachten. Im Winter sind Korrosionsschutzarbeiten

grundsätzlich nicht auszuführen. Das wichtigste Glied im Korrosionsschutz ist die *Reinigung,* und zwar in allen Phasen. Dazu gehört neben einer konsequenten Strahlreinigung mit einwandfreier Entstaubung für den ersten Anstrich eine saubere Zwischenreinigung für jeden weiteren Anstrich.

Ebenfalls zu beachten ist die gründliche Entfernung von Schmutz und Abgasrückständen (Diesel) bei längeren Standzeiten. Von entscheidender Bedeutung ist auch die *Applikationsart der Farben,* d.h. Streichen, Rollen oder Spritzen. Das mechanische Auftragen ist vorzuziehen, weil vereinzelte Sandkörner und Staub, welche auf der Oberfläche liegen, dabei in den Farbfilm eingearbeitet werden. Dadurch wird eine Trennung, wie sie beim Überspritzen eintreten könnte, verhindert, somit auch ein späteres Abblättern (siehe Abschnitt «Schäden an Stahlkonstruktionen u. Rostschutz»).

Feuerverzinkte Konstruktionen, z.B. Geländer, Kandelaber usw., sind in aggressiver Atmosphäre dicht besiedelter Gebiete und mit viel Industrie *ungenügend geschützt.* Der Zinküberzug wird zu schnell, manchmal innerhalb weniger als 10 Jahren, abgebaut [19]. An solchen Konstruktionen zeigen sich zuerst einzelne Rostpunkte, die sich dann stark vermehren und zuletzt in flächenhafte Form übergehen. Damit dies verhindert werden kann, ist eine *rechtzeitige Beschichtung* notwendig. In stark gefährdeten Gebieten soll das im Kanton Aargau in Zukunft von Anfang an geschehen [21].

Als *Rostschutz für Fahrbahnübergänge* wurde in letzter Zeit eine Spritzverzinkung als kathodischer Schutz angewendet, die mit Ausnahme der Kontaktflächen mit dem Beton durch eine Beschichtung mit Teerepoxidharz geschützt wird. Um zuverlässige Aussagen zu machen, sind zurzeit Versuche mit verschiedenen Systemen in Zusammenarbeit mit einer Farbenfabrik in Vorbereitung.

Abschliessend sei noch gesagt, dass *Erneuerungen des Korrosionsschutzes* eine heikle Arbeit darstellen, man denke nur an die Sandstrahlemissionen in der näheren Umgebung. Es sollte darum bei Neuanlagen vermehrt darauf geachtet werden, *das maximal Mögliche* zu leisten, um eine grosse Lebensdauer des Korrosionsschutzes zu erreichen. Die eventuell daraus resultierenden Mehrkosten sind eine gute Kapitalanlage und sollten nicht gescheut werden.

Imprägnierung bzw. Beschichtung

Anwendungsfälle und Anforderungen

Tatsache ist, dass z.B. im Hochbau die Karbonatisierung bei mit einem Farbanstrich versehenen Betonbrüstungen wesentlich langsamer fortschreitet als bei Sichtbeton. Im Brückenbau beschränkte man sich bisher auf den *Schutz von der Witterung und dem Salznebel ausgesetzten Teilen.* Gesucht ist aber auch ein wirtschaftlicher Porenverschluss für die dem Unfug der Sprayer ausgesetzten Betonflächen, die ein einfaches Abwaschen unerwünschter Verzierungen gestatten.

Mit der Herstellung der Produkte für verschiedene *betonschützende Systeme* befassen sich seit mehreren Jahren einige in der Schweiz auf dem Sektor der Bauchemie bekannte Firmen. Die Palette der angebotenen Produkte und Systeme ist sehr breit [22], dazu variieren die Kosten von den bisher ausgeführten Beispielen untereinander sehr stark. In Ermangelung von Richtlinien und Vorschriften für die Kontrolle und Prüfung der anzuwendenden Produkte und Systeme wird die sowieso komplexe Aufgabe des verantwortlichen Ingenieurs, die optimale Wahl des geeigneten Schutzsystemes im Einzelfall zu treffen, noch mehr erschwert.

Ein guter Beton mit genügender Überdeckung der Armierung bedarf unter normalen atmosphärischen Bedingungen und Beanspruchungen *keines zusätzlichen Schutzes.* Schutzmassnahmen sind nur notwendig, wenn

- die Umweltbelastung durch aggressive Abgase schädlich wird,
- der Beton insgesamt nicht ausreichend dicht ist,
- die Betonverschmutzung verhindert werden soll,
- die Betonfläche ein relativ dichtes Netz grösserer Risse aufweist,
- die Armierung nicht ausreichend überdeckt ist,
- fleckig gewordener Beton optisch wieder hergerichtet werden soll.

Die Betonschutzarbeiten werden manchmal bei den Neubauten als vorsorgliche, zur Qualitätsverbesserung dienende Massnahmen angeordnet. Da es im Moment an konkreten Aussagen über die Lebensdauer solcher Massnahmen fehlt, bedarf ihre Anordnung vorher einer gründlichen technischen sowie Kosten-Nutzen-Analyse [23]. Grundsätzlich sollen die Anforderungen an einem zum Schutze des Betons vorgesehenen System aufgrund der objekt- oder bauspezifischen Eigenschaften bestimmt werden. Für die Bestimmung der Betoneigenschaften sind *Prüfungen am Objekt und im Labor* erforderlich.

Von Fall zu Fall können folgende *Prüfungen* erforderlich sein:

- Beschaffenheit der Oberfläche
- chemische Verbindungen, z.B. Anwesenheit von Chlorionen
- Tiefe der Karbonatisierung
- Betonfestigkeiten (Druck, Zug, *E*-Modul usw.)
- Betonüberdeckung der Armierung
- Rissbildung usw.

Das aufgebrachte Schutzsystem soll nach Möglichkeit den *Betoncharakter der Oberfläche nicht aufheben,* allenfalls nur geringfügig verändern. Weitere wichtige Anforderungen an ein Schutzsystem sind hauptsächlich:

- vollständige und über lange Zeit wirkende Wasserabweisung
- Kapillarinaktivierung der äusseren Betonschicht
- Fähigkeit des Anstrichfilms, die Risse zu überbrücken und von den Risswänden her nicht abzuplatzen oder abzurollen
- wirksame Dampfbremse gegenüber den aggressiven Gasen der Atmosphäre wie auch gegen Wasserdampf, Kohlendioxid und Sauerstoff
- lange Lebenserwartung

Es wird versucht, anschliessend einen kurzen Überblick über die möglichen Schutzmethoden für Betonoberflächen zu vermitteln.

Imprägnierungen und Versiegelungen

Als Imprägnierungen bezeichnet man das *Eindringen* eines schützenden Stoffes in einen Baustoff. Sie dienen allein dem Schutz des Betons, nicht der Optik, und können entweder nicht filmbildend oder filmbildend sein. Die Versiegelungen erfüllen dagegen noch die *Dichtungsfunktion.* Erfahrungsgemäss wird der beste Schutz erreicht, wenn die Imprägnierungs- und Versiegelungseffekte kombiniert werden können.

Die Imprägnierungen erfolgen heute hauptsächlich mit Siliconaten, Siloxanharzen, Acryl- oder Methacryllösungen usw. Für Versiegelungen verwendet man Acryl- oder Methacrylharz, Polyvinylchloridpolymere, dünnflüssiges Epoxydharz mit oder ohne Zusatz von Siloxanen usw.

Die Lebenserwartungen dieser Schutzmassnahmen variieren zwischen ca. 2 und 10 Jahren [24].

Beschichtungen

Der Bereich der Beschichtungsmethoden erstreckt sich von *Lasuren,* die eine Zwischenform zwischen Versiegelungen und Anstrichen (Dünnbeschichtungen) darstellen, über die *Dünnbeschichtungen* bis zu den *Dickbeschichtungen* des Betons.

Im Brückenbau sind die Anstriche (nach der geltenden Nomenklatur die sogenannten *Dünnbeschichtungen*) die für den Betonschutz am besten geeigne-

ten Mittel. Die Stärke und die Anzahl der Anstrichfilme ist von den gewählten Produkten und Systemen abhängig. Chemisch können diese in der Regel 2-Komponenten-Produkte in Elastomere und Duromere, vom mechanischen Verhalten her in *starre* und *elastische* Systeme unterteilt werden.

Zur Anwendung kommen *zahlreiche Kombinationen* von Produkten, wie z. B.:

- Siloxananstriche über einer Siloxanimprägnierung,
- Epoxidharzanstriche über einer Siloxan-Epoxidharz-Imprägnierung,
- Kunstharzdispersionsanstriche auf der Basis von: wenig quellenden Harzen (meistens Acrylate), Methacrylaten, Vinylazetaten oder Vinylproprionaten über einer Grundierung mit echt löslichen Harzen oder einer Siloxanimprägnierung,
- Silicatfarben (Mineralfarben) mit 5%iger Siloxanlösung imprägniert,
- Polyurethananstriche ohne Vorimprägnierung.

Bei allen Schutzsystemen ist der *Vorbehandlung* bzw. Vorbereitung der Betonoberfläche für die Applikation einer Beschichtung *die grösste Bedeutung* zuzumessen.

Da zuverlässige Kriterien für die Wahl des besten Systems bis heute fehlen, sollten vermehrt Erfahrungen gesammelt und ausgetauscht werden. Die Dauerhaftigkeit der vorerwähnten Schutzsysteme variiert nach Angaben zwischen 5 und 15 Jahren. Heute sollte von einem guten Schutzsystem eine Lebensdauer von mindestens 15 Jahren verlangt werden.

Ausbesserungen

In letzter Zeit hat die Reparatur von Betonkonstruktionen, mit der wir uns hier und im vorhergehenden Kapital befassen, eine *rasante Entwicklung* durchgemacht. Dabei sind viele Verfahren entwickelt und angepriesen worden. Die Ausbesserung von Beton muss aber sorgfältig vorbereitet und überwacht werden.

Flicken von Beton

Diese *Reparaturen* beziehen sich hauptsächlich auf:

- Ausbesserungen der Kanten und Eckbeschädigungen
- Entfernung von sichtbaren Kiesnestern
- Ausbesserung der Betonabplatzungen
- Reprofilierung der beschädigten Betonflächen

Gegenwärtig ist das Angebot von Baumaterialien, die für Flickarbeiten am Beton geeignet sein sollen, sehr gross.

Für Reparaturarbeiten werden bei uns hauptsächlich *zwei Systeme* angewendet. Diese beruhen auf der Basis von

- Epoxy-Mörtel und
- kunststoffvergütetem Zementmörtel

Bei beiden Systemen ist eine Vorbehandlung des Untergrundes mittels einer Grundierung oder Benetzung produktspezifisch erforderlich. Der Nachbehandlung der reparierten Stellen muss insbesondere bei den Systemen mit kunststoffvergütetem Mörtel grosse Bedeutung beigemessen werden. Grössere Betonflächen und -teile können manchmal durch Gunitieren repariert werden (siehe Abschnitt «Brandfälle»).

Injektionen

Über die Notwendigkeit einer Anwendung des Injektionsverfahrens für die Schliessung von Rissen wird in der Regel aufgrund *folgender Kriterien* entschieden:

- Schutz der Armierung gegen Korrosion
- Schutz des Betons vor Wasser und aggressiven Gasen bzw. Wiederherstellung der Dichtigkeit
- Wiederherstellung des homogenen Querschnittes, sowie des Kraft- bzw. Spannungsflusses.

Wie bereits im Abschnitt «Statisch-konstruktive Prüfung» behandelt, spielen auch Statik und konstruktive Durchbildung, z.B. eventuell mangelhafte Armierung bei Rissen, eine Rolle.

Die Notwendigkeit für eine *Wiederherstellung des Kraftflusses* durch Injektion der Risse drängt sich nach unseren Erfahrungen selten bzw. nur in besonderen Fällen auf (z.B. Risse in den Koppelfugen, Erfahrungen in der BRD).

Das *Verpressen* solcher Risse erfolgt in der Regel mit Epoxidharzsystemen. In der Schweiz besteht bereits seit Jahren ein relativ breites Angebot von Spezialfirmen, die für die Ausführung der Injektionsarbeiten verschiedene Systeme und Produkte anbieten.

Zum Schutz der Armierung und des Betons gegen Korrosion sowie für die Dichtung der Risse (siehe Abschnitt «Brandfälle») kommen andere *gelartige Produkte* in Frage. Es wurden z.B. gute Erfahrungen mit den Injektionen auf Acrylharzbasis gemacht (Bild 17). Die Viskosität des Polymerisates beträgt je nach Formulierung 1,1 bis 30 cP.

Für die qualitative Kontrolle der Injektionsarbeiten stehen heute dem Aufsichtsorgan nur ausländische Richtlinien [25, 26] zur Verfügung.

Verstärkungen

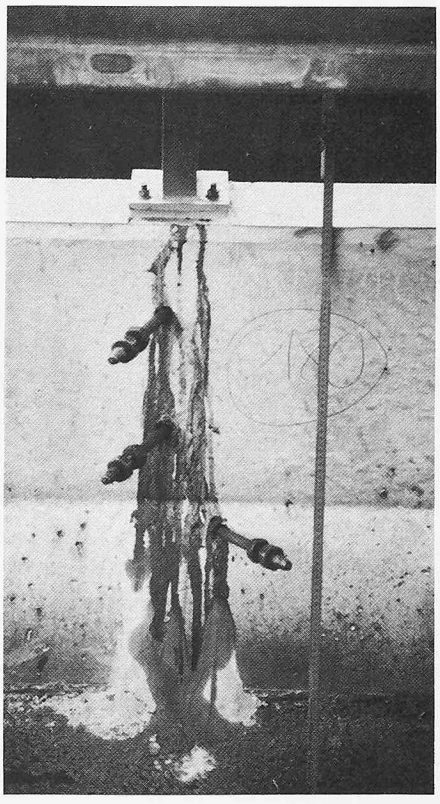
Wenn ältere Bauwerke nicht den heutigen Lasten entsprechen oder verbreitert werden, oder wenn eine Konstruktion schwache Stellen aufweist, sind Verstärkungen notwendig.

Bei mehreren Hauptträgern gelingt dies manchmal mittels zusätzlicher lastverteilender *Querträger* und der dadurch entstehenden Trägerrostwirkung. Bei Betonbrücken kann man eine zusätzliche *Vorspannung* in Erwägung ziehen. Bei einer Stahlfachwerkbrücke (siehe das nachstehende Beispiel «Sanierung der Aarebrücke Wildegg») wurde eine Verstärkung mittels eines *Stahlbetonplattenbalkens* erreicht.

Häufiger zu verstärken sind die *Schwachstellen untergeordneter Teile,* wie Platte, sekundäre Längs- oder Querträger oder die Bereiche der Verankerung oder der Lager mit ihren rechnerisch schlecht erfassbaren Spannungskonzentrationen. Die Wirkung ist dabei *meist beschränkt,* denn nachträglich angebrachte Verstärkungen wirken, wenn das Teil nicht entlastet wird, für Eigengewicht nicht mit.

Wie das nachstehende Kapitel zeigt, ist ein Vorsatzbeton trotzdem häufig nützlich.

Bild 17. Verpressen einer Fuge mit gelartiger Masse als Dichtung und Rostschutz



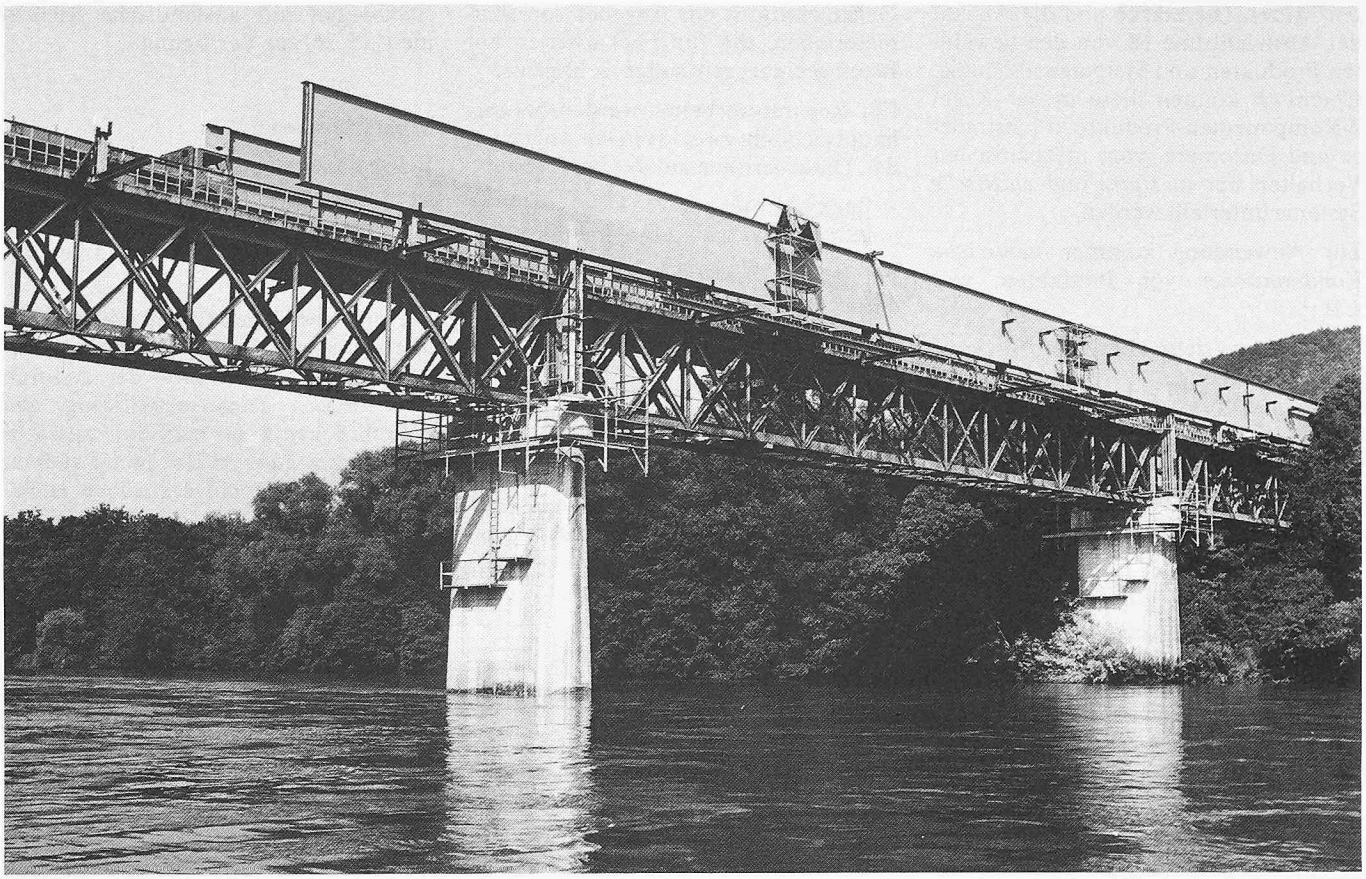


Bild 18. Erneuerung der Aarebrücke B-034, Stilli, 1969/70. Die Vollwandträger der neuen Verbundbrücke wurden unter Verkehr in Hochlage montiert und nach der Demontage der alten Brücke mit der fertigen Betonplatte abgesenkt



Bild 19. B-058 Reussbrücke Gebenstorf. 1976 mussten Schäden an der Stampfbetonplatte aus dem Jahre 1930 notdürftig geflickt werden. Dies löste umfangreiche Untersuchungen der Brücke und ihrer Fundationen aus . . .

Gunit und andere Betonvorsätze

Betonvorsätze dienen neben der *Verstärkung* vor allem der *Ausbesserung* von schadhaftem Beton oder Mauerwerk und der Abdeckung von Eisen. Auch hier muss zuerst der nicht gesunde Stein oder Beton entfernt und freiliegende Eisen entrostet und mit Korrosionsschutz versehen werden. Ausserdem darf die Karbonatisierung nicht bis zu den Eisen vorgedrungen sein.

Das *Gunitieren* gestattet relativ dünne, genügend verdichtete Schichten auf Beton aufzutragen. Dabei kann eine Armierung oder ein Netz auftorkretiert werden.

Bei Stützmauern und Wänden kann man auch *mit einer Schalung* einen Vorsatzbeton machen. Am einfachsten geht dies, wenn man mehr als 20 cm mit einer neuen Armierung vorbetonieren kann.

Neuerdings gibt es auch *kunststoffvergütete Mörtel,* die wie ein Verputz aufgebracht werden.

Ausgleich von Setzungen und Deformationen

Infolge unterschiedlichen Baugrundes traten in einigen Fällen die Toleranzen überschreitende *ungleichmässige Setzungen* auf, die durch Nachstellen der Lager korrigiert werden mussten. In einem Fall wurden sie durch den Bau einer Kanalisation verursacht. Typisch war, dass dabei die grössten Setzungen nach dem Ziehen der Spundwände auftraten.

Andrerseits haben sich die auf frisch geschütteten, bis auf min. M_E = 800 kg/cm² (= 80 N/mm²) verdichteten Dämmen oder Kiesersatz von schlechtem Material fundierten Widerlager bewährt. Bei schlechtem Untergrund

musste selbstverständlich das Abklingen der Dammsetzung abgewartet werden.

Deformationen des Überbaus, wie sie z.B. infolge Kriechen, Schwinden oder von Rissbildungen nachträglich entstehen können, lassen sich nur in geringem Masse bei Belagserneuerungen ausgleichen. Dünne, auf Null auslaufende Ausgleichsschichten auf Bitumen- oder Zementbasis haben sich *nicht bewährt.* Spezialfälle, wie sie sich bei Sanierungen oder Erneuerung der Fahrbahnplatte anbieten, sind selten.

Erneuerung

Die Erneuerung von ganzen Kunstbauten gehört nicht zum baulichen Unterhalt, kann aber die Folge von der behandelten Kosten-Nutzen-Analyse sein. Rechnet man mit einer mittleren Lebensdauer von 100 Jahren, so müssten im Aargau jährlich 6 Kunstbauten erneuert werden.

Manchmal genügt die *Erneuerung des Überbaus* unter Anpassung der bestehenden Pfeiler und Widerlager. In den meisten Fällen ist der Zustand der Fahrbahnplatten die auslösende Ursache. Bei der Aarebrücke Stilli (Bild 18) und den Rheinbrücken Zurzach und Kaiserstuhl (in Vorbereitung) handelte es sich um veraltete Zoreseisenfahrbahnen (Bild 9). Bei der neuen Aarebrücke Döttingen und der neuen Reussbrücke Gebenstorf-Windisch (Bild 19) gingen die Stahlbetonplatten kaputt.

Wo möglich beschränken wir uns auf den *Ersatz einzelner Bauwerkteile.* Wie die Beispiele der noch zu behandelnden Rheinbrücke Waldshut und der Aarebrücken Aarburg und Wildegg zeigen, sind die Stahlbetonfahrbahnplatten, die besonders dem Verschleiss und der Witterung ausgesetzt sind, auch hier dominierend.

Bei *Bogenbrücken,* wie z.B. bei der Rheinbrücke Laufenburg (im Bau) oder dem nachher behandelten Beispiel der Zeiherbachbrücke Hornussen, werden zusätzlich Stahlbetonfahrplatten als Verstärkung und Basis für eine bessere Abdichtung eingezogen.

Da bei Erneuerungen meist gleichzeitig Ausbauwünsche befriedigt werden, gehen die Kosten häufig zu Lasten Bau. Dadurch kann vermieden werden, dass das Konto Brückenunterhalt zu starken Schwankungen unterworfen wird.

Da die Grenzen zwischen Neubau und Unterhalt schwimmend sind, hat sich bei uns die Bearbeitung beider Sachgebiete durch das gleiche Team bewährt. Dadurch kommen zudem die Erfahrungen aus dem Unterhalt direkt der Projektierung zugute.

Sanierungsbeispiele

Es hat sich gezeigt, dass *Strassenbrükken* etwa alle 20–30 Jahre saniert werden müssen [1], der Belag stark befahrener Brücken sogar öfter. So sind im vergangenen Jahr im Kanton Aargau von 174 Nationalstrassenbrücken (NS-BR) 15 und von 414 Kantonsstrassenbrükken (KS-BR) 14 saniert und 1 KS-BR erneuert worden.

Insbesondere wurden in den letzten 20 Jahren fast alle KS-Flussbrücken über Aare, Limmat, Reuss und Rhein saniert bzw. ganz oder teilweise, d.h. z.B. unter Verwendung der alten Pfeiler und Widerlager, erneuert. Bei vielen Stahlbrücken mussten zudem neue Stahlbetonfahrbahnplatten eingebaut werden. Die nachfolgenden Beispiele sollen zeigen, wie interessant und vielseitig der Unterhalt von Brücken ist.

Sanierung des Bünztalviaduktes der N1, Othmarsingen

Überblick

Seit 1970 befindet sich die 275,1 m lange und 22,90 m breite Autobahnbrücke über das Bünztal bei Othmarsingen (Objekt N1/403) in Betrieb (Bild 20). Diese ästhetisch befriedigende Brükkenkonstruktion besteht aus 9 Feldern (30,90 + 7×31,33 + 24,86 m) mit je 12 vorfabrizierten Trägern, welche auf insgesamt 216 Teflon-Gleit- und Kipplagern ruhen. Feldweise wirkt die Tragkonstruktion des Überbaues als vorgespannter Trägerrost.

Die aus einem Submissionswettbewerb hervorgegangene Konstruktion war *sehr preisgünstig* und wurde punkto Wirtschaftlichkeit im Kt. Aargau nie übertroffen. Ihre Baukosten lagen nach der Abrechnung bei 550 Fr./m². Die abgegebene Massengarantie von ± 5% wurde eingehalten. Seit einigen Jahren konnten die Autofahrer im Vorbeifahren auf dieser Brücke *öfters Baustellensignale* sehen, die auf die arbeitenden Sanierungsequipen deuteten. Da in der Schweiz viele Brücken in dieser Konstruktionsart ausgeführt wurden und wir die Gelegenheit hatten, das Verhalten des Tragwerkes zu beobachten, sowie verschiedene Untersuchungen und Reparaturen durchzuführen, wollen

Bild 20. N1/403 Bünztalviadukt. Der Besichtigungswagen wird in die am Hammerkopf befestigte Schiene eingefahren. Er kann mit dem Leitergerüst auf dem Handlauf verschoben werden



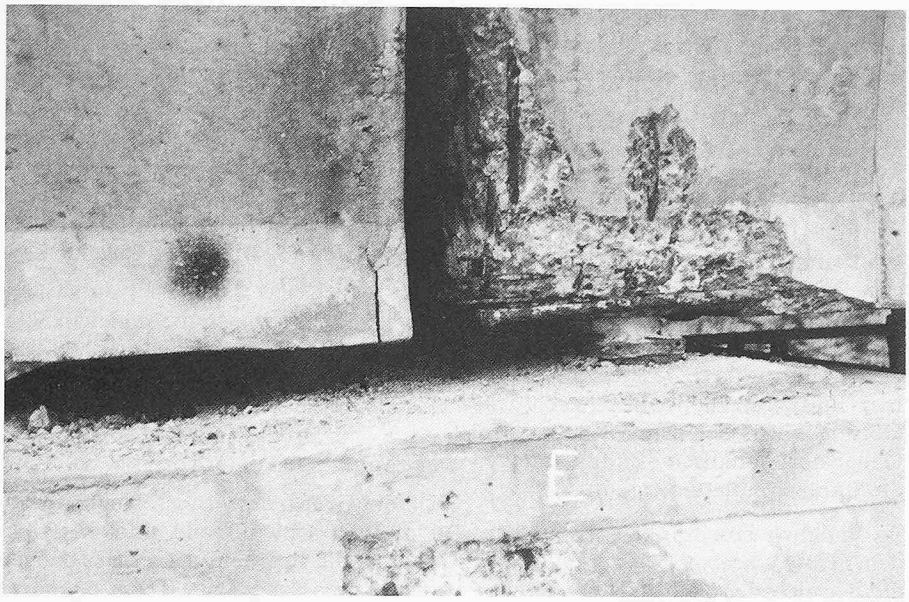


Bild 21. N1/403 Bünztalviadukt. Auflager der Fertigteilträger auf dem Pfeiler. Abplatzungen infolge zu geringer Eisenüberdeckung und angerostete Lager (1981)

wir über unsere im Laufe des 12jährigen Betriebes gewonnenen Erfahrungen kurz berichten.

Betonbelag der Fahrbahn

Wegen der extrem dünnen Fahrbahnplatte ohne Aufbeton und den ca. 3 km Betonierfugen zwischen den Trägern, entschloss man sich seinerzeit, anstelle der vorgesehenen Dichtung und Schwarzbelag einen 10 cm starken *Betonbelag* einzubauen, wie in [27] als Monolithtragplattenbelag beschrieben. Dieser nachträglich eingebaute Belag steht statisch und konstruktiv im vollen Verbund mit dem vorgespannten Trägerrost und wurde dementsprechend armiert.

Die Brücke ist jedoch so bemessen, dass sie *auch ohne Betonbelag voll tragfähig* ist. Da die Träger aber als Einfeldbalken mit Gelenken über den Pfeilern ausgebildet sind, können Zugkräfte infolge Stützmomenten über den Pfeilern und damit Risse in der Platte nicht auftreten [28].

Im Stützenbereich bildet der Betonbelag zwecks Vermeidung von Übergangskonstruktionen eine *spezielle Übergangsplatte* zwischen den Trägerenden, die beidseits mit Betongelenken angeschlossen ist [29]. Dieser Konstruktion, die die freie Verdrehung der einzelnen Trägerroste über den Pfeilern gewährleistet, hat sich bewährt [30] und wird heute als sogenannte *Federplatte* im In- und Ausland angewendet.

Zustand, Unebenheiten der Oberfläche

Die Kontrollen des im Verbund mit den vorfabrizierten Trägern stehenden Betonbelages zeigen, dass dieser *dicht* ist und *keine Risse statischen Ursprungs* aufweist. Andererseits macht sich beim Befahren der Brücke ein gewisses Aufschaukeln des Fahrzeuges infolge *Unebenheiten* auf der Oberfläche des Fahrbahnbelages bemerkbar. Es stellte sich aus Gründen der Verkehrssicherheit die Frage, ob diese Unebenheiten Anlass zur Besorgnis geben.

Nach den Profilmessungen (Längsrichtung) und Befahrbarkeitsmessungen des «Otto-Graf-Institutes» der Universität Stuttgart, liegen folgende Untersuchungsergebnisse vor:

- Im Vergleich mit der Soll-Lage liegt die Fahrbahnfläche in den Feldbereichen 10–20 mm *höher* und in den Stützenbereichen 5–10 mm *tiefer*. Die höhere Lage der Betonfahrbahn ist zum Teil die Folge des Kriechens der Spannbetonkonstruktion (ca. 8–10 mm) und der Ungenauigkeiten in der Ausführung des Betonbelages. Die tiefere Lage der Fahrbahn in den Stützenbereichen ist beim nachträglichen Betonieren der Übergangsplatten entstanden. Die Vertiefungen erstrecken sich ausnahmsweise nur auf diese Teile der Fahrbahn.
- Nach dem Prüfbericht des Otto-Graf-Instituts dürfte es infolge der vorhandenen Unebenheiten auf der Fahrbahn mit Wellenlängen bis zu 10 m nur bei Fahrzeugen mit verhältnismässig hoch abgestimmten Aufbauschwingungen und bei mässigen Fahrgeschwindigkeiten zu gewissen Aufschaukelungen kommen. Die Sicherheit des Verkehrs wird dadurch *nicht beeinträchtigt*.

Schäden am Betonbelag

Nach einer Betriebszeit von 4 Jahren traten überwiegend am äusseren Rand der Fahrspuren *Betonabplatzungen an der Oberfläche* auf. Die aufgetretenen Schäden wurden einer eingehenden Untersuchung unterzogen, mit der sich die Betonstrassen AG, Wildegg, das LPM-Labor, Beinwil a/See, und die Abteilung Tiefbau des Aarg. Baudepartementes befassten. Eine kurze Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse wird nachstehend gegeben:

- Die lokalen Betonabplatzungen sind die Folgen einer fortgeschrittenen *Armierungskorrosion*. An den schadhaften Stellen wurden die Überdeckungen der Armierungseisen gemessen. Obwohl 3 cm vorgeschrieben waren, betrugen diese zum Teil nur 5–20 mm.
- Die Betonoberfläche (bis in 20...30 mm Tiefe) weist allgemein eine *höhere Kapillarität* des Zementsteines und damit einen höheren Gefrieranteil mit einer verschlechterten Frost-Tausalzbeständigkeit auf.
- Zu der Armierung in den obersten 20 mm besteht eine *mangelhafte Verbundqualität*.
- Die Dichtigkeit des Betons ist vor allem oberflächig durch die Kapillarität und die hohe Rissdichte beeinträchtigt. Die dadurch bestehende, erhöhte Korrosionsgefahr wirkt sich vor allem auf die Armierung in der Betonoberfläche aus. Qualitativ weist die Betondecke hohe Schwindrissdichte und unterschiedliche Kapillarität bis 10 cm Tiefe auf.
- Der untere Teil der Fahrbahndecke (3...10 cm tief) wurde mit einem Beton hergestellt, der eine hohe Frost-Tausalzbeständigkeit erwarten lässt [31].

Reparaturen

- 1976 wurde eine *Reparatur des Betonbelages* im Rahmen der Garantieleistungen ausgeführt. Die schadhaften sowie die Stellen mit ungenügender Armierungsüberdeckung (≦ 25 mm) wurden ausgespitzt, die Armierung entrostet und mit speziellem Beton ausbetoniert.
- Nach dieser Sanierung sind bis heute nur vereinzelt neue Betonabplatzungen festgestellt worden.
- Die Dichtigkeit der Betonoberschicht wurde 1980 durch Aufbringung einer Teer-Epoxy-Oberflächenbehandlung, als Sofortmassnahme, erhöht.

Zukunftserwartungen – erforderliche Massnahmen

- Unter den Oberflächenpartien liegt ein Beton vor, der seitens der Frost-Tausalzbeständigkeit und der Festigkeiten den Anforderungen für Fahrbahnbeton *genügt*. Der durch die hohe Kapillarität und Rissdichte beeinträchtigte Beton auf der Oberfläche kann langfristig keinen genügenden Korrosionsschutz der oberen Armierung gewähren. In den nächsten

Jahren soll eine Sanierung des Betonbelages, hauptsächlich zum Schutz der Armierung gegen Korrosionserscheinungen infolge Wasser, Frost- und Tausalzeinwirkungen, unternommen werden. Gleichzeitig werden wir dabei versuchen, die vorhandenen Unebenheiten der Belagsoberfläche zu beheben.

Lager inkl. Einmörtelung

Allgemeine Beschreibung

Die sehr zahlreichen *Teflon-Gleit-* und *Kipplager* auf den Pfeilern (192 Stück) können nur von einem kleinen, von Pfeiler zu Pfeiler versetzbaren Besichtigungskorb aus kontrolliert oder repariert werden. Der Korb bietet Platz für maximal zwei Personen, die den Betrieb des Korbes von Hand besorgen müssen (Bild 20).

Die eingebauten Teflon-Lager stehen in zwei Reihen von je 12 Stück auf den hammerförmigen Pfeilern. Diese sehr preisgünstigen Lager sind schmal, ca. 50 cm lang und sehr niedrig. Sie wurden vor der Trägermontage in Zementmörtel auf den einzelnen Betonsockel versetzt. Nach der Trägermontage und -justierung wurde der freie Raum zwischen der oberen Lagerplatte und der unteren Fläche der Träger mit einem Kunststoffmörtel ausgestopft. Diese Methode war im Jahre 1968 noch im Entwicklungsstadium. Die nur ca. 1,0 cm dicken Lagerstahlplatten lagen zum Teil in der Einmörtelung. Die hintere Seite der Lager war durch den schmalen Spalt zwischen dem Pfeiler und Überbau kaum zugänglich (Bild 21).

Untersuchungen, Mängel

Schon bei der Abnahme der Lager musste die *Ausführung des Korrosionsschutzes* beanstandet werden. Im Rahmen der Garantieleistungen wurde deshalb der Korrosionsschutz der Lager erneuert und verbessert. Bei der Ausführung der Korrosionsschutzarbeiten stellten die Aufsichtsorgane fest, dass ein Absanden des Kunststoffmörtels an der sichtbaren Vertikalfläche aufgetreten ist. Dies veranlasste den Bauherrn, eine genauere Untersuchung durchzuführen. Aus den Proben, die am Bauwerk entnommen wurden, fertigte die Lieferfirma plattenförmige Prüfkörper für die vergleichenden Festigkeitsprüfungen an. Die von einer unabhängigen Prüfstelle durchgeführten Untersuchungen [32] ergaben folgende Resultate:

- Die *Einmörtelung der Lager* erfolgte mit einem Polyestermörtel; der Bindemittelgehalt betrug 14,1–16,5%.
- Die *Plattendruckfestigkeit* der Lagermörtel-Proben liegt zur Zeit um – 42% und – 55% unter derjenigen des Vergleichsmörtels (Bindemittelgehalt 20,7%).
- Nach der *Raumbeständigkeitsprüfung,* also unter dem Einfluss von Wasser und 60 °C Wärme, ist das Quellen des Lagermörtels ausserordentlich stark und der Abfall der Vikkershärte gegenüber den Vergleichsproben gross (– 19%). Das Quellen und der Vickershärteverlust war nach 28 Tagen noch nicht stabilisiert.
- Die Untersuchungsergebnisse geben *keinen Anhaltspunkt,* der auf einen stabilen Zustand des eingebauten Mörtels hinweist.

Sanierung

Nach der Auswertung der Prüfergebnisse erklärte sich die Herstellungsfirma bereit, bei sämtlichen Lagern die obere *Lagereinmörtelung auf eigene Kosten auszuwechseln.* Das Auswechseln des Mörtels musste nach einem genauen, sehr komplizierten und arbeitsintensiven Bauvorgang erfolgen. Im Laufe von zwei Jahren wurde der Polyestermörtel bei sämtlichen Lagern durch einen Epoxy-Mörtel ersetzt. Der Bauherr nutzte diese Gelegenheit zur nochmaligen Verbesserung des Korrosionsschutzes und zur Erneuerung einiger Lagerteile.

Sanierung der festen Lager

Bei den periodischen Kontrollen wurden im unmittelbaren Bereich der festen Lager am Beton des östlichen Widerlagers (Seite ZH) *Risse* festgestellt. Den Formen nach deuteten diese Risse auf *grosse Betonzugspannungen.* Die 1979 eingeleitete und durchgeführte Sanierung zeigte, sass die für die Aufnahme der Zugkräfte vorgesehene Armierung nicht richtig lag, so dass im umliegenden Beton grosse Zugspannungen entstanden sind. Mit dem *Einbau zusätzlicher Spannkabelverankerungen* wurde die Aufnahme der von den horizontalen Festlagern eingeleiteten Kräfte gesichert.

Übriges Bauwerk

Überbau

Der Zustand der vorfabrizierten Träger und der vorgespannten Querträger aus Ortsbeton ist nach optischer Beurteilung allgemein sehr gut. An den südwestlichen Randträgern (Wetterseite) mussten 1981 kleinere Ausbesserungsarbeiten (Entrosten der Eisen und Ausflicken mit Spezialmörtel) im Auflagerbereich vorgenommen werden (Bild 21).

Die Ursache der Verrostungen sind:

- ungenügende Eisenüberdeckung
- starke Benässung dieser Stellen durch die undichte Fuge in der Betonbrüstung.

Statisch gesehen verhält sich die gesamte Tragkonstruktion einwandfrei. Ebenfalls funktionieren die Übergangsplatten über den Stützen wie vorgesehen. Einige vom Verlauf der nachträglich gefrästen Scheinfugen bei den Übergangsplatten örtlich abweichende Risse an der Oberfläche des Betonbelages sind als Folge einer ungenügend präzisen Ausführung entstanden. Sie beeinträchtigen das Funktionieren des Tragsystems nicht, könnten aber im Laufe der Zeit zu Kantenschäden und Betonabplatzungen führen.

Pfeiler und Fundationen

Der Zustand der Brückenpfeiler ist zufriedenstellend. Die Pfeilersetzungen sind klein. Bei den Widerlagern wurden Setzungen festgestellt, die vom *nachträglichen Schütten* des naheliegenden SBB-Dammes verursacht sind.

Konsolkopf- und Geländersanierung einer Spannbetonbrücke in Hunzenschwil

Allgemeines

An dem 1964 zusammen mit der Nationalstrasse N1 beim Anschluss Hunzenschwil (Aarau Ost) erbauten Objekt B-731, Überführung der Kantonsstrasse K 111 über die neue Aaretalstrasse T5 Aarau–Wildegg wurden Betonschäden an den Randabschlüssen (Konsolköpfe), Verrostungen der feuerverzinkten Geländer und Abplatzungen an den Geländereinmörtelungen festgestellt (Bild 22).

Die Brückenlänge zwischen beiden Widerlagern beträgt 46,40 m. Der sehr schlanke Überbau aus zwei bis max. 70 cm starken und je 12,30 m breiten Betonplatten ist vorgespannt und überbrückt die T5 in 3 Feldern von 9,50, 22,82 und 13,00 m.

Im Zusammenhang mit dem Bau der seinerzeit zurückgestellten Aaretalstrasse zwischen Hunzenschwil und Aarau wurde beschlossen, diese Brücke instandzustellen, bevor die darunter liegende Strasse T5 eröffnet und der Verkehr auf dem mitten im Knoten liegenden Objekt zunehmen wird.

Untersuchungen der Schäden und Diagnose

Auf den horizontalen und vertikalen Betonflächen der Konsolköpfe zeigte sich ein umfangreiches *Netz von starken und feinen Rissen* (Bild 23). Allein aufgrund der statischen, konstruktiven und ausführungstechnischen Überlegungen über den Verlauf, die Form und Rissstärke konnten die Ursachen der übermässigen Risseerscheinungen

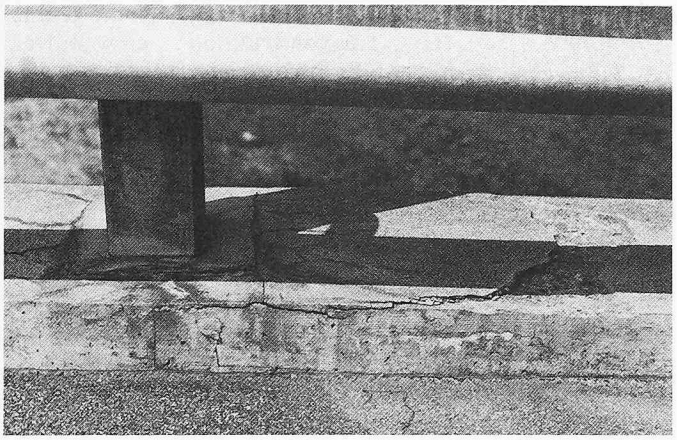


Bild 22. B-731, Brücke über T5, Hunzenschwil. Risse und Betonabplatzungen am Brückenkonsolkopf. Zustand 1980



Bild 24. B-731. Fertig sanierter Konsolkopf mit Beschichtung



Bild 23. B-731. Netzartige Risse an der Aussenseite des Konsolkopfes. Zustand 1980

nicht geklärt werden. Es mussten deshalb materialspezifische Betonuntersuchungen eingeleitet werden. Zudem stellten sich weitere Fragen, wobei die wichtigsten im aufgestellten Problemkatalog lauteten:

- Was ist die Ursache der Riss-Schäden?
- Wie weit ist der Beton karbonatisiert?
- Wie ist die Tausalzbelastung des Betons?
- Ist bereits eine Armierungskorrosion vorhanden, genügt der vorhandene Korrosionsschutz der Armierung?
- Eignet sich der Beton als Sanierungsgrundschicht, wenn nicht, in welcher Tiefe ist ein gesunder Beton vorhanden?
- Was kann von einer Sanierung erwartet werden?

Die *Betonuntersuchungen* wurden dem Labor für Präparation und Methodik (LPM), Beinwil a/See, anvertraut. Im Untersuchungsbericht Nr. 1556 vom 15.1.1980 findet sich, neben einzelnen Prüfresultaten, auch eine Zusammenfassung der Untersuchungsbefunde, welche ein plastisches Bild über die Betoneigenschaften und die Schadensituation ergibt. Da diese für den betontechnologisch interessierten Fachmann sehr aufschlussreich sind, werden die wichtigsten hier kurz interpretiert:

- Seitens der Zuschlagstoffe und der Zementart inkl. Betonkonzept lagen keine Hinweise für eine Schadenursache vor.
- Die Hydratation des Betons und, zusammenhängend damit, die ursprüngliche Wasserverteilung im Zementleim während der Erhärtung, waren fehlerhaft. Dadurch sind viele, mehrheitlich vertikal verlaufende Schrumpf- und Schwindrisse entstanden.
- Nach der Betonerhärtung sind deutliche Spannungsrisse entstanden, die heute weitgehend versintert sind.
- Die Druckfestigkeit des Betons entspricht den Vergleichswerten eines PC 300.
- Es liegt kein Gefälle der Betoneigenschaften im Querschnitt vor.
- Die Karbonatisierungstiefe beträgt nur 0,1 mm(!)
- Im Beton ist nur eine geringe Salzmenge von 0,011 Gew. % enthalten.
- Es liegt noch keine Armierungskorrosion vor.
- Nach dem Kriterium D-R (Dobrolubov-Romer) ist die Frost- und Tausalzbeständigkeit des Betons schlecht.

Daraus können *deutliche Schlussfolgerungen* gezogen werden, und zwar: Die Betonschäden wurden hauptsächlich durch die fehlerhafte Hydratation und mangelhafte Nachbehandlung des Betons hervorgerufen, dies obwohl gute Betongrundstoffe vorlagen und die Frost- und Tausalzbelastung verhältnismässig gering war.

Sanierungsmassnahmen

Durch das Vorhandensein der *tiefgreifenden Risse im Querschnitt* der Konsolköpfe mit einer durchgehenden Längsverteilung werden die Stahleinlagen, langfristig gesehen, in erhöhtem Masse den korrosionsfördernden Einflüssen, und der Beton den immer stärker werdenden Frost- und Tausalzeinwirkungen ausgesetzt.

Da die *Geländereinmörtelungen* (Bild 22) stark schadhaft und am Geländer die Korrosionserscheinungen in fortgeschrittenem Zustand waren, wurde beschlossen, eine *umfassende Sanierung* der Brückenkonsolköpfe inkl. Geländer durchzuführen.

Obwohl die Qualität und Eigenschaften des Betons in jeder Tiefe als gleichartig bezeichnet werden konnten, war die Zahl der starken und tiefen Risse und Betonabplatzungen an der Oberfläche, insbesondere im Bereich der Geländerpfosten, gross. Es mussten darum vorerst *alle gerissenen und losen Betonteile abgespitzt* werden, bis eine einwandfreie Sanierungstraggrundschicht vorlag. Die, teilweise bis 10 cm dicke, schadhafte Betonschicht wurde mit einem, speziell für diese Sanierungsarbeiten zusammengesetzten Beton *ersetzt.*

Vom Ersatzbeton wurden folgende Eigenschaften verlangt:

- feste, gesunde Oberfläche
- ein möglichst kleines Schwindmass
- hohe Druck- und Zugfestigkeit
- einwandfreier Verbund mit dem alten Beton
- gute Frost- und Tausalzbeständigkeit

Es wurde *nur nachts,* bei mässigen Lufttemperaturen (5 bis 10 ° C) betoniert. Vom ersten Moment nach dem Betonie-

ren musste eine *äusserst sorgfältige Betonnachbehandlung* organisiert werden. Die Ergebnisse der Aufbetonierung entsprachen weitgehend den gestellten Anforderungen. So konnte eine fast optimale Betonqualität erreicht werden, geeignet für die Applikation eines präventiven Betonschutzes. Um eine einwandfreie Traggrundfläche für die als Betonschutz vorgesehene Beschichtung zu haben, wurde die ganze Betonfläche inkl. Altbeton noch *sandgestrahlt*. Nachdem der neue Beton genügend ausgetrocknet war, konnte auf die horizontalen und vertikalen Flächen eine Beschichtung aus zwei lösungsmittelfreien, pigmentierten, 2-Komponenten-Anstrichen auf Epoxybasis appliziert werden (Bild 24). Für die *Kontrolle und Überwachung der Beschichtung* und des darunter geschützten Betons ist ein langfristiges Spezialprogramm vorgesehen.

Die Qualität der 1980/81 mit verhältnismässig grossem Aufwand ausgeführten Sanierungsarbeiten ist bisher zufriedenstellend. Die *Kosten* der Betonsanierung und Beschichtung betrugen 345 + 330 = 675 Fr./m¹. Zudem kostete der neue Korrosionsschutz am Geländer 70 Fr./m¹.

Zur definitiven Beurteilung des angewandten Schutzsystems müssen die Ergebnisse über das *Langzeitverhalten* der geschützten Bauteile abgewartet werden.

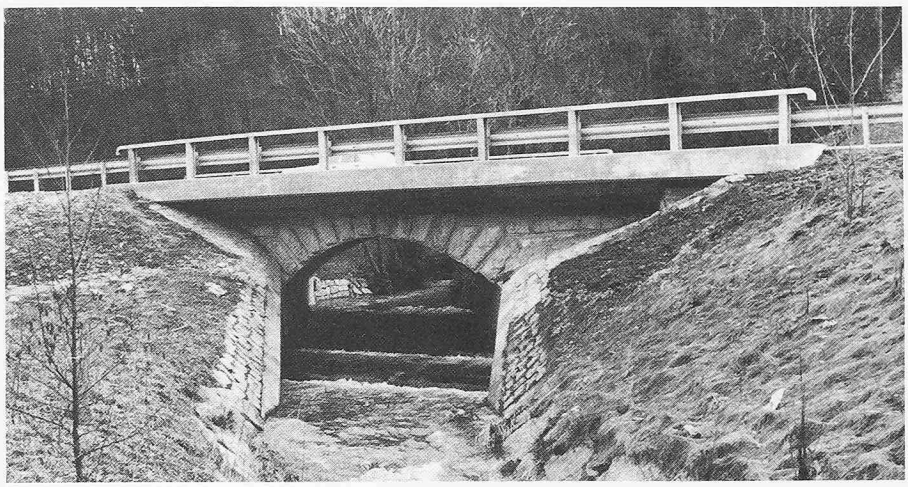


Bild 25. Die sanierte und verbreiterte Zeiherbachbrücke B-414 in Hornussen

Sanierung und Verbreiterung der Zeiherbachbrücke in Hornussen

Allgemeines

Das Bruchsteingewölbe der Zeiherbachbrücke mit einer lichten Weite von 4,80 m wurde ca. 1850 erbaut. Da der Zeiherbach die Strasse unter 57,66^{g} kreuzt, ist diese kleine Bogenbrücke relativ schief. Sie liegt im Zuge der Kantonsstrasse 116, zwischen Brugg und Frick, die noch immer eine der wichtigsten Verkehrsverbindungen zwischen der Ostschweiz und Basel ist, und wurde in den letzten 30 Jahren täglich von sehr intensivem Schwerverkehr und häufig von Sondertransporten (prov. Versorgungsroute!) befahren.

Schadenbild

Bei den periodischen Kontrollen stellte man fest, dass auch dieses Bruchsteingewölbe, als Folge der *hohen dynamischen Lasten* und *fehlender Abdichtung* die für derartige Konstruktionen typischen Schäden aufweist:

- ausgewaschene, offen klaffende Fugen ohne Mörteleinlagen
- abgesunkene und verschobene Steine im Gefüge der Tragkonstruktion
- stark verwitterte Bruchsteine der Brüstungen
- Klüftungen entlang der Gesteinsschichten
- Bewegungsrisse, durch die Fugen laufend
- Risse bis zu 3 mm breit, insbesondere in den Steinen des Traggewölbes (Spannungsrisse)

Beim Steinmaterial handelt es sich um ausgeprägt geschichteten *Jurakalk* der obersten Gesteinformationen. Da die Brücke einen Engpass darstellt, sollte die Fahrbahn gleichzeitig um ca. 2,60 m verbreitert werden.

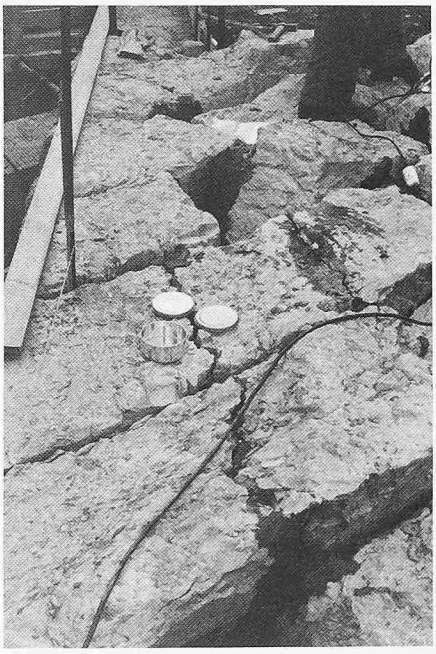


Bild 26. B-414. Risse und Fugen in den abgedeckten Kalksteinen des Gewölbes

Massnahmen

Aus landschaftsgestalterischen, technischen und finanziellen Überlegungen wurde eine Lösung gesucht, bei der das schützenswerte Bruchsteingewölbe erhalten werden kann. Das Gewölbe wurde mit einer *mittragenden armierten Betonplatte verstärkt*, die gleichzeitig auf ihren Kragarmen die verbreiterte Fahrbahn trägt (Bild 25). Die Betonplatte ist mit einer Klebeisolation mit Gussasphalt-Schutzschicht abgedichtet, so dass kein Wasser mehr von der Fahrbahnplatte in die Bruchsteine des Gewölbes einsickern kann. Zur Sanierung des Bruchsteingewölbes sind noch folgende Massnahmen ausgeführt worden:

- Die Fugen wurden gereinigt und anschliessend mit einem kunststoffmodifizierten Spezialmörtel von oben ausgegossen,
- die Risse in den einzelnen Bruchsteinen wurden mit reinem Epoxyd-Harz sorgfältig ausgegossen (Bild 26),
- vereinzelte Abplatzungen an der Oberfläche der Kalksteine wurden mit einem Spezialmörtel ausgeflickt,
- zwecks Verhinderung einer weiteren Verwitterung der unteren Partien infolge eindringender Feuchtigkeit (Bachbereich, Nebel) wurde die ganze Aussenfläche inkl. Fugen der Steinkonstruktion mit einem wasserabstossenden Produkt imprägniert.

Die Ausführung der Bauarbeiten erfolgte in zwei Bauetappen. Der Verkehr musste deshalb einspurig während einer Bauzeit von ca. 6 Monaten über je eine Brückenhälfte geführt werden.

Mit einem Kostenaufwand von ca. 220 000 Fr. konnten durch die im Jahre 1981 ausgeführten Sanierungsarbeiten folgende Ziele erreicht werden:

- Erhöhung der Tragfähigkeit
- Verbesserung der Verkehrssicherheit und Verbreitung der Fahrbahn
- Verbesserung des baulichen Zustandes und Verlängerung der Lebensdauer der bestehenden Konstruktion.

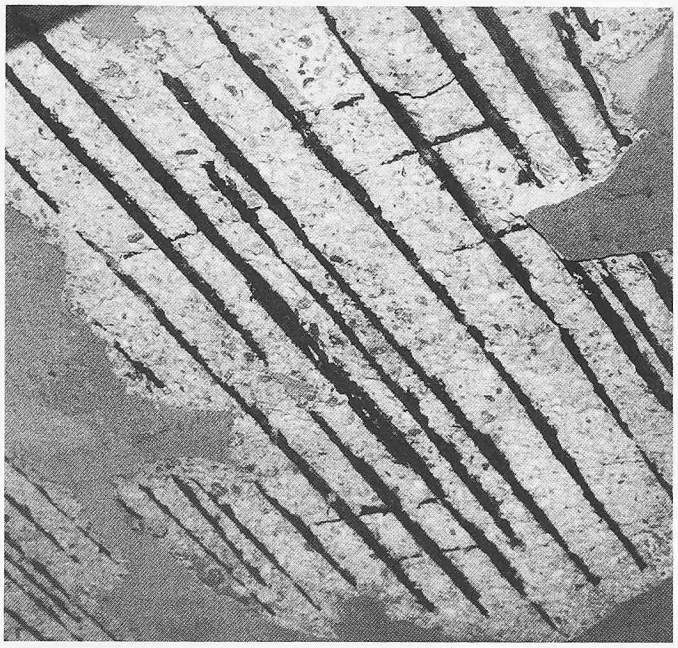


Bild 27. B-003 Rheinbrücke Koblenz–Waldshut. Nach Abklopfen abgeplatzter Beton. Die Untersicht der Fahrbahnplatte war hier um 1970 beschichtet worden

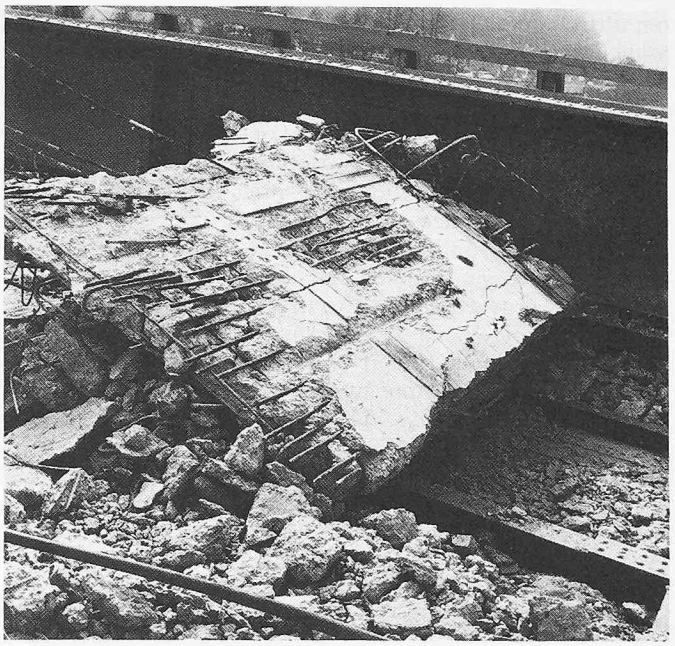


Bild 29. B-003. Die beim Abbruch umgestülpte Betonplatte mit den Betonabplatzungen

Erneuerung der Betonplatten der Rheinbrücke Koblenz-Waldshut

Beschreibung der Brücke

Die Rheinbrücke B-003 im Zuge der Kantonsstrasse K 113 (CH) und der Deutschen Bundesstrasse B-34 (D) wurde in den Jahren 1931-32 als Gemeinschaftsbauwerk erstellt. Die Haupttragkonstruktion besteht aus zwei im Abstand von 7 m parallel durchlaufenden *Stahlvollwandträgern* mit variabler Konstruktionshöhe, welche sich auf den Widerlagern und zwei Flusspfeilern abstützen. Mit Spannweiten von 36,6 + 54,9 + 36,6 m beträgt die Gesamtbrückenlänge 128,1 m.

Zwischen den Hauptträgern ca. 1,25 m versenkt lag die 18 cm starke *Fahrbahnplatte aus Stahlbeton* auf einem Stahlträgerrost, bestehend aus sekundären Längsträgern im Abstand 1,70–2,00 m, welche mit einer Spannweite von 4,57 m zwischen den Querträgern mit Kontinuitätslaschen angeschlossen waren (Bild 28).

Die 6,2 m breite *Fahrbahn* wies einen ca. 5 cm starken Gussasphaltbelag und eine Mastix-Abdichtung auf. Die ausserhalb der Hauptträger angeordneten 1,5 m breiten Gehwege aus 7 cm starken Betonplatten lagen auf Konsolen und Sekundärlängsträgern aus Stahl. Der Belag auf den Gehwegen bestand aus 2 cm Gussasphalt.

Die Schäden

Die Hauptelemente der Brücke wie Pfeiler, Widerlager, Quer- und Sekundärlängsträger befanden sich in einem baulich guten Zustand. Stark beschädigt waren der Fahrbahnbelag, die Abdichtung sowie die Betonplatten von Fahrbahn und Gehwegen (Bild 4).

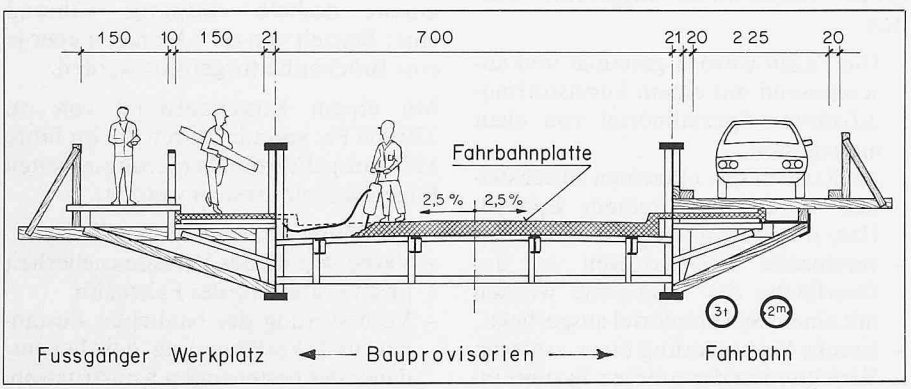
Aufgrund verschiedener Voruntersuchungen, Besichtigungen und aus Probesondierungen wurde festgestellt:

Der *Belag* war verformt, am Rand ausgequetscht und lokal zerrissen, besonders in den Bereichen der Zollposten (Bild 4), wo das häufige Bremsen und Anfahren von Fahrzeugen die Zerstörung beschleunigte. Die undichte Abdichtung liess das Wasser, das besonders im Winter durch Tausalz aggressiver war, in die Betonplatte sickern. Die *Betonplatte* war an vielen Orten quer zur Brückenlängsrichtung gerissen.

Interessant ist, dass die *statische Nachprüfung* ergab, dass die Risse durch eine zu schwache Längsarmierung verursacht waren. Die Platte war, wie seinerzeit üblich, unter der falschen Annahme starrer Sekundärlängs- und Querträger berechnet worden. Erst nach dem Reissen hatte die Platte entsprechend der Statik in Querrichtung getragen.

Während die *Qualität des Stampfbetons* als relativ gut bezeichnet werden konnte, war dieser an der Oberfläche schlecht verdichtet und im Laufe der Zeit unter der Abdichtung stellenweise bis ca. 2 cm tief *zermalmt*. An der Plattenuntersicht hat die lokal bis zu 30% angerostete Armierung die Eisenüberdeckung abgesprengt (Bild 27). Aussinterungen und Salzablagerungen waren eine häufige Erscheinung. Auf der einen Hälfte der Untersicht, wo Anfang der siebziger Jahre eine Kunststoffbeschichtung aufgebracht worden war, waren die Schäden besonders schlimm. Beim Abklopfen wurden zahlreiche Hohlstellen festgestellt, wobei sich 3 bis 5 cm starke Betonschichten von der Armierung lösten (Bild 27). Das Wasser war durch die undichte Abdichtung bis zur dichten Beschichtung an der Plattenuntersicht gesickert und verursachte durch seine Aggressivität ein schnelleres Rosten der Armierung. Der ca. 50 Jahre alte Beton war oben ca. 3 mm und unten ca. 50 mm stark karbonatisiert.

Bild 28. B-003. Querschnitt der Rheinbrücke beim Abbruch der Betonplatte, mit Bauprovisorien



Die Gehwegplatten waren in ähnlichem Zustand und die Stahlrandträger hatten erhebliche Rostschäden.

Das Projekt für die Erneuerung

Da die *Sicherheit gefährdet* war, musste die Erneuerung der Platten dringend erfolgen und wurde im Frühjahr 1981 durchgeführt. Für die Sanierung, an deren Kosten das Land Baden-Württemberg zur Hälfte beteiligt war, lag die Federführung beim Aarg. Baudepartement.

Dabei wurde die neue Fahrbahnplatte von 18 cm Stärke aus Ortbeton nun 5 cm höher als die bestehende erstellt und dieselbe mit Vouten und Dübeln mit dem bestehenden Stahlträgerrost verbunden. Die neue elektronische statische Berechnung als orthotrope Platte (Projektverfasser: Ing.-Büro *Eglin, Ristic AG*, Basel) ergab eine *wesentlich stärkere Längsarmierung*. Andererseits ist die neue Querarmierung kaum geringer als bei der alten Platte ausgefallen. Der Einfluss der seitlichen, praktisch starren Auflagerung auf den Hauptträger, war relativ gering.

Um die volle Tragfähigkeit der Hauptträger zu erhalten, wurde die *Stärke der Betonplatte beibehalten* und die von Dichtung und Belag nur unwesentlich von 6 auf 8 cm erhöht. Zudem war eine *relativ dünne Abdichtung* erwünscht. Wegen des Bremsens und Anfahrens vor den beidseitigen Zollanlagen in einer Steigung von 4% wurde eine aufgeklebte Efkaprene-Beschichtung auf Kautschukbasis gewählt. Die Platten sollten zudem einen dichten und dauerhaften Belag erhalten. Während die Fahrbahnplatte einen zweischichtigen Gussasphaltbelag von 8 cm Stärke erhielt, wurde auf die neuen, vorfabrizierten Stahlbetonplatten der Gehwege ein 2,5 cm starker auf Efkaprene aufgeklebter Gussasphalt aufgebracht.

Die Bauausführung

Die eigentliche Bauausführung gliederte sich in die drei Abschnitte: Vorphase, Hauptphase und Nachphase.

Vorphase

In der *Vorphase,* vom 2. Februar bis 15. März 1981, wurden ohne jede Beeinträchtigung des Verkehrs von einer Schiffbatterie aus die an die bestehende Stahlkonstruktion befestigten Bauprovisorien aus Holz (Bild 28) zuerst auf der Oberwasserseite und nachher auf der Unterwasserseite erstellt. Gleichzeitig wurde das Schutz- und Fanggerüst unter der Brücke befestigt.

Hauptphase

Am 16. März begann die *Hauptphase*, die Bauarbeiten an der Fahrbahnplatte. Die Brücke war für Lastwagen gesperrt, und der Verkehr von Personenwagen und Fussgängern war auf die Provisorien umgeleitet.

Nach dem Belagsabbruch wurde die alte Betonplatte von Norden Richtung Süden durch Abspitzen in grössere Stücke aufgeteilt und mit Baggern auf Lastwagen verladen. Der leichte Abbruch hat den schlechten Zustand der Fahrbahnplatte bestätigt (Bild 29). Anschliessend erfolgten Reinigungs- und Korrosionsschutzarbeiten, das Aufschweissen der Kopfbolzen, die Schalungsarbeiten für die ganze Platte sowie die Vorbereitung für das Betonieren. Die neue Fahrbahnplatte wurde durch 5 Arbeitsfugen in 6 Abschnitte geteilt. Das Betonieren erfolgte durch Pumpen von Norden beginnend in 3 Etappen, jeweils je 2 Abschnitte versetzt. Der eingebaute Beton wurde mit dem Vakuumverfahren Tremix behandelt. Dadurch wurde ca. 20 l/m³ des Überschusswassers dem Beton in ca. 25 bis 30 Minuten entzogen. (Der Beton wird sofort nach dem Vakuumieren trittfest, weniger feucht, härtet rascher aus und schwindet weniger.) Die nach 2 bis 4 Wochen durchgeführte Feuchtigkeitsmessung mit einer Nuklearsonde ergab Resultate, die einem ca. 8 Monate alten Beton entsprechen.

Bei der Behandlung der mit rotierenden Scheiben abtaloschierten Betonoberfläche mit einem Hochdruck-Wasserstrahler (ca. 800 bar) blieb die Platte unverändert und es erfolgten weder Abplatzungen noch Vertiefungen. Um die Haftung mit dem Gussasphalt zu verbessern, wurde in die zweischichtige Efkaprene-Abdichtung ein Gummigranulat eingestreut. Die kleinen Bläschen, die sich in dieser Isolation zeigten, wurden entfernt und die Beschichtung ausgebessert. Die Ausgleich- und Verschleissschicht des Gussasphaltbelages wurde maschinell eingebaut. Beim Einbau der Ausgleichschicht zeigten sich Blasen, die nach dem Walzen verschwanden. Nach der Erstellung des Belages wurden die Leitplanken montiert und damit konnte die Hauptphase nach 73 Kalendertagen beendet und die Fahrbahn dem Verkehr übergeben werden.

Nachphase

In der Nachphase wurde zuerst das Bauprovisorium auf der Unterwasserseite demontiert, die Stahlkonstruktion der Konsolen für die Auflagerung der Fertigteile ergänzt und die vorfabrizierten Betonplatten der Gehwege versetzt. Die Montage der Fertigteile erfolgte nachts von der Fahrbahn aus. Die Montage von der Schiffsbatterie hätte wegen der Genauigkeit gewisse Schwierigkeiten gebracht. Beim Einbau des einschichtigen Gussasphaltbelages auf den Gehwegen zeigten sich im Belag Luftentweichungen unter Bläschenbildung in der Efkaprene-Abdichtung. Diese wurden durch ein leichtes Walzen beseitigt. Nachher wurde der Gehweg der Oberwasserseite auf gleiche Art erstellt und die ganze Brücke wieder voll dem Verkehr überlassen.

Während der ganzen Bauzeit wurden – mit Unterbrüchen – die *Korrosionsschutzarbeiten* durchgeführt und als letzte Arbeiten der Nachphase im September 1981 beendet.

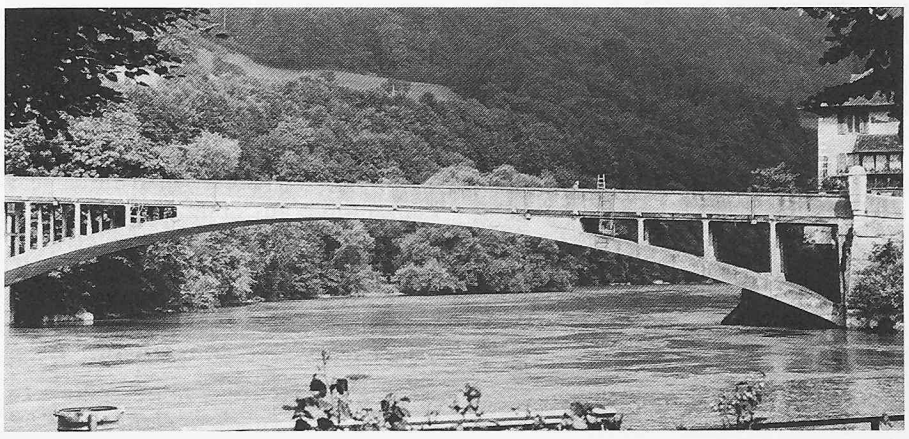
Die Kosten der Sanierung inklusiv Voruntersuchung, Projekt und Bauleitung betrugen ca. 1,9 Mio Fr. bzw. 1420.– Fr./m².

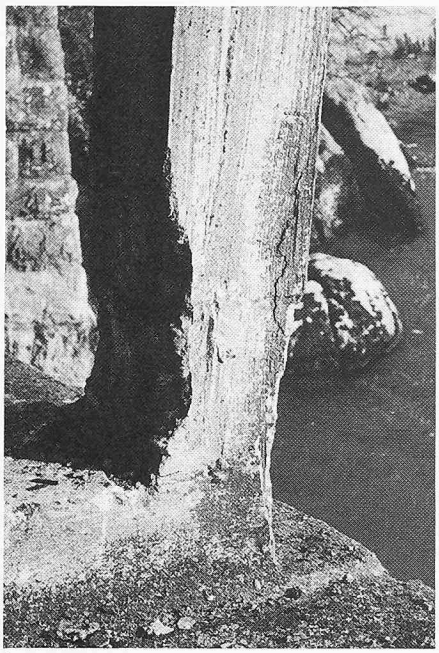
Erneuerung der Fahrbahn der Aarebrücke Aarburg

Die 1911/12 von *R. Maillart* mit einer Spannweite von 67,90 m gebaute Stahlbeton-Bogenbrücke, Objekt B-021, hatte eine lichte Weite von 5,00 m zwischen den Betonbrüstungen.

Während der Bogen (Bild 30) in einem guten Zustand war, hatte die aus einem aufgeständerten Plattenbalkenrost be-

Bild 30. B-021, Aarebrücke Aarburg. Baujahr 1911 (R. Maillart), vor dem Umbau





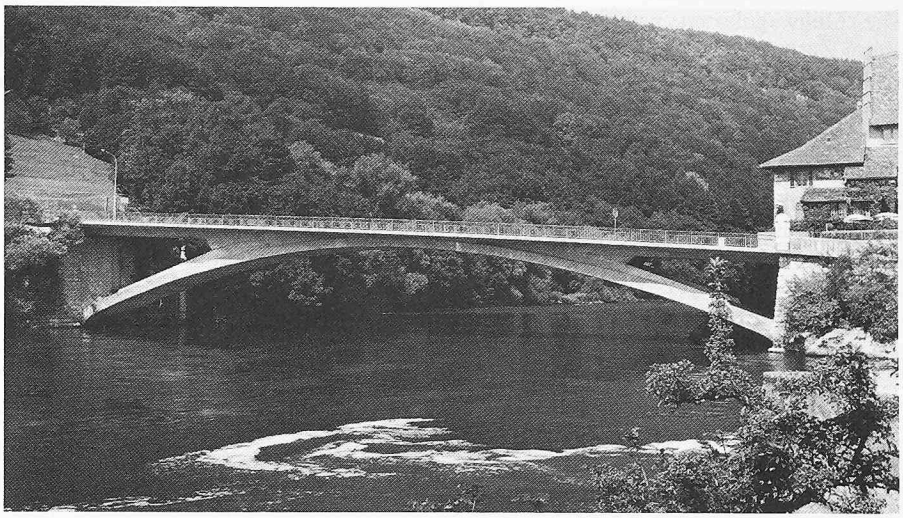


Bild 32 (oben). B-021. Die 1966 sanierte und verbreiterte Brücke

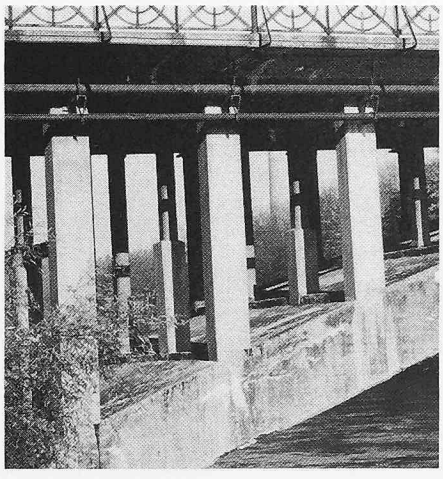
Bild 31 (links). B-021. Betonabplatzungen am Stützenfuss infolge zu geringer Eisenüberdeckung (1965)

stehende Fahrbahn und ihre Stützen infolge fehlender Dichtung und zu geringer Eisenüberdeckung *schwere Schäden* (Bild 31).

Infolge *Zusammenwirken von Bogen und Fahrbahn* waren die Schäden an Kopf und Fuss der Stützen besonders ausgeprägt. Durch eine neue vorgespannte Fahrbahnplatte ohne Ständer, die nun mit 1,50 + 6,00 + 1,50 = 9,00 m zwischen den Geländern fast die doppelte Breite hat, wurde die Brücke 1966 unter Leitung von *R. Favre* [33] saniert. Gleichzeitig wurde der Bogen durch Rippen verstärkt. Projektierender Ingenieur und Bauherr haben dabei der Gestaltung und Anpassung an die Stützmauer mit Brüstung und Grenzstein grösste Aufmerksamkeit geschenkt (Bild 32).

Die *Kosten* der Sanierung inklusiv Notbrücke, Untersuchungen, Projektierung und Bauleitung betrugen damals Fr. 637 000.— oder 905.— Fr./m².

Bild 33. Bei einer ähnlichen Aarebrücke wurden nur die Ständer ummantelt



Durch eine Ummantelung der Ständer, wie sie an einer anderen Brücke (Bild 33) ausgeführt wurde, wird das statische System für Verkehrslast, Temperatur usw. geändert und das Zusammenwirken Fahrbahnplatte–Bogen verstärkt. Will man Überbeanspruchungen und damit Schäden vermeiden, bedarf dies stets einer genauen statischen Überprüfung.

Sanierung der Aarebrücke Wildegg

Die 1869/70 gebaute Aarebrücke B-027 der Kantonsstrasse K 472 zwischen Wildegg und Auenstein weist eine Tragkonstruktion aus zwei im Abstand von 5,8 m durchlaufenden mehrfachen *Parallelgitterträgern aus Schweisseisen* auf. Die Brücke wurde auf 2 Widerlagern, 2 Ufer- und 2 Flusspfeilern mit Spannweiten von 21,99 + 3×31,5 + 21,99 m gelagert. Die Gesamtbrückenlänge betrug 138,48 m. Zwischen den Hauptträgern, mitten in ihrer Höhe eingelassen, auf einem Rost von Sekundärlängs- und Querträgern aus Eisen, lag die 5 m breite Fahrbahn aus Kies auf Zoreseisen.

Im Jahre 1924 wurde der Kies der Fahrbahn durch Stahlbeton unter Beibehaltung der Zoreseisen ersetzt und die Gitterfüllung der Hauptträger durch je 3 Längsprofile aus Stahl versteift. Beim Ausbau des Knotens am rechten Ufer kürzte man 1952 die erste Vorlandöffnung von 21,99 auf 9,51 m bzw. die Gesamtlänge auf 127,0 m. Ein neues Widerlager wurde dafür erstellt.

Anfangs der sechziger Jahre stellte man fest, dass die *Fahrbahnplatte stark beschädigt* war. Die undichte Isolation liess das Wasser durch die gerissene Betonplatte sickern, was starke, unbehebbare Rostschäden der Zoreseisen verursachte. Ausserdem war die Tragfähigkeit der Brücke ungenügend, weshalb die Belastbarkeit beschränkt werden musste. Um die *Fahrbahnplatte zu ersetzen,* die *Tragfähigkeit der Brücke den neuen Belastungen* anzupassen und den *Fussgängern einen sicheren Übergang* zu ermöglichen, ist 1967/68 eine neue Fahrbahnplatte aus Stahlbeton mit zwei ausserhalb der Stahlträger auskragenden, 1,5 m breiten Gehwegen im Verbund mit einem neuen Stahlbetonträger, der zwischen zwei Stahlträgern unterhalb der Fahrbahnplatte lag, folgendermassen erstellt worden (Bild 34). Nach dem Abbruch der bestehenden Fahrbahnplatte wurde der Betonträger mit Aussparungen bei den Stahlquerträgern nur bis zur Unterkante der Platte betoniert. Nach dem Erhärten des Betons hat man die Stahlkonstruktion, die als Lehrgerüst diente, vom Betonträger entlastet, die Aussparungen ausbetoniert und anschliessend die Fahrbahnplatte mit beiden Gehwegauskragungen im Verbund mit dem Betonträger betoniert. Der neue T-förmige Betonträger (Bild 35) hat dadurch den Hauptteil der Belastung übernommen, und die Tragfähigkeit der Brücke entspricht nun der Normalbelastung nach Art. 9 der SIA-Norm 160 (1956). Die *Gesamtkosten* der Sanierung inkl. Korrosionsschutzausbesserung betrugen ca. Fr. 500 000 bzw. ca. 420 Fr./m².

Die *Korrosionsschutzarbeiten* an der Stahlkonstruktion, Ausbesserungen am Beton sowie die Erneuerung der Gehwegbeläge aus Gussasphalt erfolgten 1979. Die *Kosten* betrugen ca. Fr. 115 000 bzw. ca. 96 Fr./m².

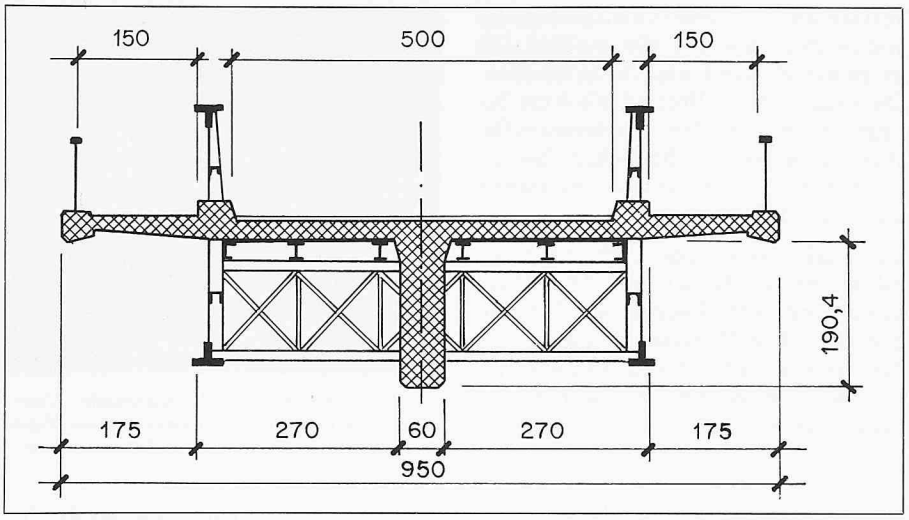


Bild 34 (oben). B-027 Wildegg. Querschnitt der Stahlfachwerkbrücke mit zusätzlichem Betonbalken und Gehwegkonsolen

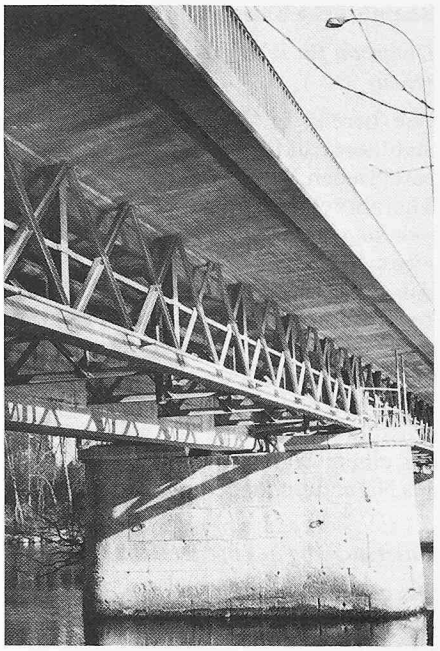


Bild 35 (rechts). B-027. Untersicht der sanierten Aarebrücke

Sanierung von Flusspfeilern

Reussbrücke Bremgarten

Beschreibung des Bauwerks

Der Hauptteil der «Holzbrücke» Bremgarten hat 5 Öffnungen von 12,9 + 15,0 + 16,7 + 15,1 + 10,9 m und eine Gesamtlänge von 70,6 m. Die mittleren 3 Öffnungen werden durch Fertigteilspannbetonträger, auf denen die alte Holzbrücke ruht, überdeckt. Die Endfelder bestehen, ebenso wie zwei weitere Öffnungen am linken Ufer, aus Betonplatten auf Stahlprofilen. Durch die erste Öffnung des Hauptteils (12,9 m) fliesst der linksufrige Kanal, durch die zweite und dritte (15,0 + 16,7 m) der Hauptlauf der Reuss und durch die vierte und fünfte (15,1 + 10,9 m) der rechtsufrige Mühlekanal. Die Kanäle sind durch gemauerte Streichwehre von der Reuss getrennt und haben oft einen 1,5 bis 2 m höheren Wasserspiegel als die Reuss. Drei von insgesamt 4 Pfeilern stammen aus der Mitte des 16. Jahrhunderts und sind aus Muschelkalk-Quaderstein gemauert. Der seinerzeit stark beschädigte 4. Pfeiler im Mühlekanal wurde 1912 durch einen neuen ersetzt. Dieser hat ein Pfahljoch aus Stahlprofilen als Tragkonstruktion und eine Verkleidung aus Stahlbeton, welche die gleiche Form wie die gemauerten Pfeiler ausweist.

Der erste und der dritte Pfeiler liegen in der Flucht der Streichwehre und erfahren dadurch einen *zusätzlichen seitlichen Wasserdruck*. Bei den ersten drei, gemauerten Pfeilern wurde die Flusssohle durch einen Steinwurf mit einer ca. 40 cm starken, daraufliegenden Betonplatte gegen die Kolkgefahr gesichert.

Schäden

Bei niedrigem Wasserspiegel der Reuss hat man 1977 beim Pfeiler 3 *starke seitliche Wasseraustritte* beobachtet. Aufgrund der anschliessend angeordneten Taucheruntersuchungen wurden bei den Pfeilern 1 und 3 *leere, ausgewaschene Fugen* an der Oberwasserseite festgestellt. Durch diese drang das Wasser unter Druck und hatte die Fugen des Mauerwerkes bis zur Unterwasserseite erodiert. Dort trat es in starken Strahlen, besonders beim Pfeiler 3 (Bild 36) aus. Beim – im Mühlekanal stehenden – Pfeiler 4 hatte die Strömung die Flusssohle unter der auf Holzpfählen gegründeten Betonverkleidung bis ca. 1 m tief unterkolkt.

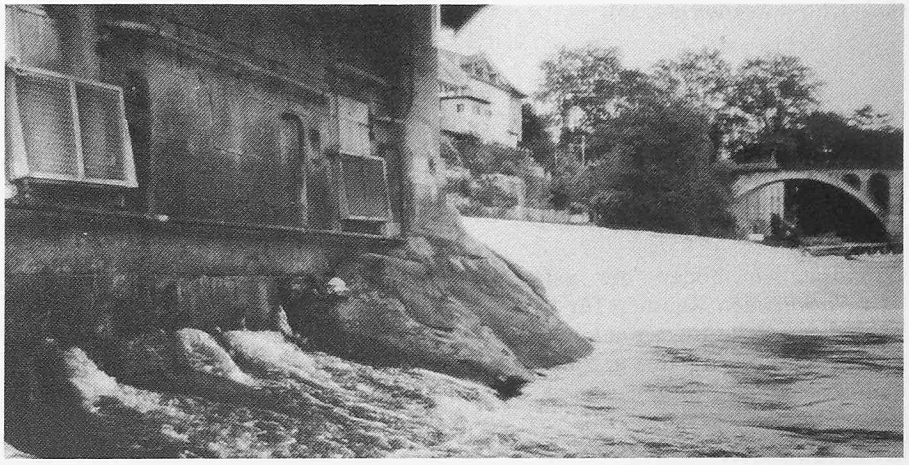
Sanierung

Zur Sanierung der Pfeiler, die bei Niedrigwasser im Spätsommer 1978 erfolgte, musste zunächst die Strömung von den Pfeilern 3 und 4 abgewehrt werden. Zu diesem Zweck hat man rings um den Pfeiler 4 und an der Oberwasserseite des Pfeilers 3 Hüllen aus synthetischem Gewebe (VSL-Container) an der Flusssohle befestigt und anschliessend diese mit einer pumpfähigen kolloidalen Zement-Sand-Wasser-Mischung (Colgroud) ausinjiziert.

Um eine genügend hohe Mauer zu erhalten, wurde nach dem Aushärten jeweils eine weitere Lage Container aufgebracht und ausinjiziert. Danach hat man die Auskolkung unter dem Pfeiler 4 mit gleicher Mischung ausgegossen. Ebenso wurden die Hohlräume und ausgewaschenen Fugen der Pfeiler 1 und 3 behandelt, bis das Injektionsgut auf der Unterwasserseite aus den Fugen austrat.

Die ausgeführten Sanierungsmassnahmen an den Pfeilern haben sich bewährt. Die *Baukosten* beliefen sich auf ca. Fr. 47 000.–.

Bild 36. B-050 Reussbrücke Bremgarten. Das Wasser strömt neben dem Streichwehr auch durch die Fugen des Pfeilers



Rheinbrücke Kaiserstuhl

Unterbau für Wiederverwendung vorgesehen

Wie bereits im Kapitel «Schäden an Stahlkonstruktionen und Rostschutz» beschrieben, soll der Überbau der Rheinbrücke Kaiserstuhl unter *Verwendung der alten Widerlager und des Flusspfeilers* erneuert werden. Beim Bau der heute bestehenden Stahlbrükke, im Jahr 1891, hatte man die gemauerten Widerlager der alten Holzbrücke aus dem Jahre 1824 beidseits des Rheins beibehalten und einen neuen Flusspfeiler erstellt. Dieser wurde 1885 auf einem Stahlcaisson gegründet und aus Natursteinquadern aufgemauert.

Untersuchung des Pfeilers

Die grösseren Auflagerkräfte der neuen Zweifeldbrücke haben eine *gründliche Untersuchung des Pfeilerzustandes* veranlasst. Diese wurde im Herbst 1977 mit Tauchern und Sondierbohrungen mit *folgenden Ergebnissen* durchgeführt: Der zwischen den aufgemauerten Pfeilerwänden ausbetonierte Kern (Zu- und Abluftröhre) ist relativ mager und enthält viele grössere Steine. Der Arbeitsraum des Caisson ist mit Sand verfüllt und wies oben einen Hohlraum von ca. 20 cm auf. Die Mauersteine sind in gutem Zustand und unverschoben. Die Fugen, deren Breite 1 bis 4 cm beträgt, waren an den Pfeilerseitenflächen in grösseren Bereichen bis zu einer Tiefe von 35 cm ausgewaschen und offen (Bild 37).

Der Stahlmantel des Caissons weist zahlreiche Rostbeulen auf. Die Abrostung wurde vom Taucher auf 2–3 mm geschätzt. Die Fluss-Sohle seitlich des Pfeilers war örtlich bis ca. 1 m abgetragen. Bei den Widerlagern wurde eine Erosion der Fluss-Sohle festgestellt.

Sanierung

Bei den Anfang 1979 erfolgten Sanierungsarbeiten wurde zuerst eine Stahlspundwand um den Pfeiler als Schutz gegen die Wasserströmung erstellt und ca. 60 cm in die Fluss-Sohle eingebunden. Anschliessend hat man den Zwischenraum von 30–40 cm sowie die ausgewaschenen Fugen mit einem Unterwasserpumpbeton (PC 400 kg/m³, Korn 0–16 mm) verfüllt. Durch die vorhandene und eine weitere Bohrung wurde der Caissonarbeitsraum sowie der Pfeilerkern mit einer Zement-Wasser-Mischung unter kleinem Druck bis max. 3 bis 5 bar ausinjiziert, bis das Injektionsgut austrat.

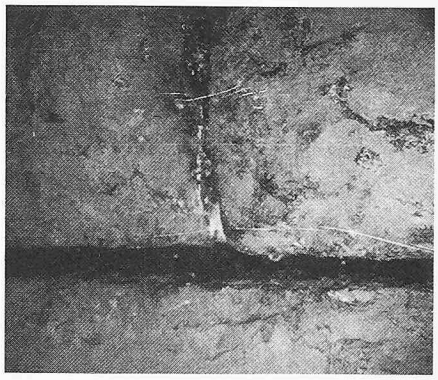


Bild 37. B-001 Rheinbrücke Kaiserstuhl. Unterwasseraufnahme (1977) der ausgewaschenen Fugen im Mauerwerk des Pfeilers, der 1979 saniert wurde

Um den Pfeiler sowie an den Widerlagern wurde ein *Blockwurf* eingebracht, der die Sohle gegen weitere Erosion schützen soll. Die Gesamtkosten der Sanierung mit Untersuchungen belaufen sich auf ca. Fr. 295 000.—.

Die flach und relativ hoch gegründeten Widerlager werden im Zuge der Anpassung an den neuen Überbau mit Hilfe von Bohrpfählen entlastet und stabilisiert.

Schlussfolgerungen für Neubauten

Um möglichst robuste und störungsunempfindliche Kunstbauten zu erstellen, muss das Ziel sein, die Erfahrungen von Bauwerkskontrolle und Unterhalt bei Projektierung und Bau auszuwerten. Bereits die SIA Richtlinie 160/3 gibt im Anhang diesbezüglich einige Hinweise.

Im Kanton Aargau sind diese Erfahrungen in den hier nachstehend kurz vorgestellten *Projektierungsrichtlinien* und in den *Normalien II (Brückenbau)* berücksichtigt worden [34, 35].

Projektierung

Besondere Anforderungen des Bauherrn

Grundsätzlich bilden die *geltenden SIA-Normen* den Rahmen für die einheitlichen Belastungsannahmen und die Bemessung von Kunstbauten. Sie überlassen aber *dem Bauherrn* die Festlegung der bauwerksspezifischen Anforderungen und Details, wie z. B.

- Belastungsannahmen bei überschütteten Bauwerken (Erddruck und Temperatur)
- Belastungsannahmen für Versorgungsrouten
- Bestimmung der Bauwerksklasse für Stahlbrücken
- Mindeststärke der Betonelemente
- min. Armierungsanteile und Durchmesser
- max. Betonfestigkeit

Ebenfalls muss in der Praxis *der Bauherr* häufig der raschen technischen Entwicklung (neue Baustoffe, Baumethoden, Produkte) unverzüglich Rechnung tragen. Im Kanton Aargau zeigte sich deshalb bereits am Anfang des intensiven Brückenbaus in den sechziger Jahren die Notwendigkeit, *zusätzliche Richtlinien und Normalien* mit konstruktiven Details für Kunstbauten herauszugeben.

Dabei wurde angestrebt, für die Durchführung von Brückenwettbewerben eine *einheitliche Basis* zu schaffen, die zu gleichwertigen und damit vergleichbaren Projekten in Spannbeton oder Stahlverbundbauweise führt.

Augenmerk auf Fahrbahnplatten

Beispielsweise werden für die *Bemessung der Fahrbahnplatten* besonders strenge Massstäbe angelegt, da diese, wie sich überall gezeigt hat, zu Schäden neigen und häufig ersetzt werden müssen. Bei den neuen Konstruktionen ist ein Ersetzen *praktisch unmöglich.* Deshalb muss der Bauherr dafür sorgen, dass zweckmässig dimensionierte, dauerhafte Fahrbahnplatten erstellt werden.

Die *dynamische Belastung* der Fahrbahnplatten, bei denen das Verhältnis ständige Last zu Nutzlast wesentlich günstiger ist als bei den Hauptträgern, ist relativ gross. Fahrbahnplatten werden direkt befahren und sind *effektiv* Stössen ausgesetzt, die nach den Untersuchungen der EMPA [36] die angenommenen Stosszuschläge übersteigen können.

Die Fahrbahnplatten sind, insbesondere bei mangelhafter Dichtung, auch am meisten der *Witterung* ausgesetzt. In einem solchen Fall können breitere Risse das Auftreten von Betonschäden und Armierungskorrosion stark fördern. Da dünnere Platten weniger Wärme speichern, vereisen sie schneller und es treten mehr Unfälle auf.

In unseren Projektierungsrichtlinien

für Kunstbauten wurden daher die *Zugspannungen* in den Fahrbahnplatten wie folgt begrenzt:

- beim Lastfall H auf 4 N/mm² (40 kg/cm²)
- beim Lastfall H+Z auf 6 N/mm² (60 kg/cm²)

Diese Werte, welche ursprünglich für den Wettbewerb «Aaretalbrücken der N3 bei Brugg» durch die Jury festgelegt wurden, gelten z. B. für die Fahrbahnplatten von Rahmenbrücken oder in Querrichtung schlaff armierten Spannbetonbrücken. Dadurch soll erreicht werden, dass Stahlbetonplatten, die direkt befahren werden, nicht zu schlank oder mit Quervorspannung dimensioniert werden. Gleichzeitig werden nicht monolithisch durchgehend armierte Platten ausgeschlossen.

Besonders *im Stützenbereich* ist darauf zu achten, dass die Fahrbahnplatte nicht zu grosse zentrische Zugspannungen erhält. Dort können diese z. B. bei Verbundbrücken ohne Vorspannung schon aus ständigen Lasten so gross werden, dass die Platte ständig durchgehend gerissen bleibt. Da sich dann keine Druckdiagonalen bilden können, wäre eine Übertragung der Schubkräfte infolge Radlasten nicht mehr gewährleistet. Wir hätten es statt mit einer biegesteifen Platte mit einer Hängematte zu tun (siehe auch «N1/418 Reusstalbrücke Birmenstorf» in [29]).

Vorspanngrad

Nach den Bestimmungen der neuen Weisung werden die Spannungs- und Deformationsnachweise von Gebrauchszuständen verlangt. Da vor allem die angenommenen Nutzlasten bei vorgespannten Brücken praktisch nie auftreten, ist eine volle Vorspannung nicht notwendig. Sie würde das Kriechen und damit die Deformation der Brücke unnötig fördern und ist daher auch unerwünscht. Die Wahl des Vorspanngrades ist grundsätzlich frei, aber im Dauerzustand dürfen die Betonzugspannungen die zulässigen Werte im Art. 5.08 der SIA-Norm 162 nicht überschreiten. Besondere Vorsicht ist im Wechselbereich der Momente geboten, wo oft *Koppelfugen* angeordnet werden. Deshalb sind im Kap. C.18 der Weisung einige Hinweise für die statische Berechnung und konstruktive Ausbildung der Spanngliedkoppelfugen enthalten.

Konstruktive Hinweise

In der neuesten Ausgabe der Richtlinien sind viele *praktische Hinweise* für die Bemessung und das Konstruieren der Tragwerke enthalten, die dem projektierenden Ingenieur erleichtern sollen, betriebssichere, langlebende, unterhaltsarme Kunstbauten zu projektieren. Zudem stehen dem Projektverfasser für die konstruktive Bearbeitung der Projekte die Normalien II des Kt. Aargau [35] und konstruktive Einzelheiten des Bundesamtes für Strassenbau [37] zur Verfügung.

Ein gutes Projekt erkennt man an der *sorgfältigen Ausbildung der Details.* Es sollten z. B. alle Teile einer Brücke möglichst leicht zugänglich sein. Lager und Fahrbahnübergänge müssen auswechselbar und soweit notwendig, nachstellbar sein. Neben jedem Lager ist Platz zum Ansetzen der Pressen vorzusehen. Bei den Widerlagern sind Kontrollgänge oder mindestens eine begehbare Berme sowie Treppen in den Böschungen anzuordnen. Hohlkästen müssen zugänglich sein.

Beste Lösung ist «kein Lager». Soweit möglich wurden daher in den letzten Jahren die Stützen in den Überbau eingespannt oder mit Betongelenken angeschlossen. Leider ist das bei Stahl- und Fertigteilbrücken nicht möglich.

Da die Temperatur von Brückenfahrbahnen besonders schnell wechselt, sollte vermieden werden, dass das Schmelzwasser der Schneemaden über die Fahrbahn läuft. Auch bei einseitigem Gefälle sind darum beidseits Entwässerungen *evtl. mit Gegengefälle* zweckmässig.

Bei *Fahrbahnübergängen* mit geringen Bewegungen sollte, wo immer möglich, eine fugenlose Konstruktion [35, Blatt 42], wie sie bereits in [38] publiziert wurde, eingebaut werden.

Insbesondere müssen exponierte Oberflächen von Konsolköpfen, Brüstungen usw. mit 3–4% Gefälle nach innen ausgebildet und mit Tropfkanten versehen werden.

Richtlinien sind *keine zwingende Vorschrift;* nach Rücksprache mit dem Bauherrn kann davon abgewichen werden. Die Praxis wird zeigen, ob wir auf dem richtigen Wege sind.

Submission und Vergabe

Vorsubmission für Spezialprodukte

Die Erfahrungen beim Unterhalt zeigen, dass es nicht immer wirtschaftlich ist, das billigste Produkt zu wählen. Beim Brückenbau im Kanton Aargau werden deshalb *Vorsubmissionen* für Vorspannung, Geländer, Fahrbahnübergänge, Lager, Dichtung und Belag sowie oft auch für die Entwässerung durchgeführt. Der Bauherr kann so das am besten geeignete Produkt auswählen und stellt dann die Offerten der gewählten Subunternehmer den Submittenten der Hauptofferte zur Verfügung, die diese in ihr Angebot integrieren. Dadurch erhält der Bauherr gleichwertige, gut vergleichbare Offerten. Auch volkswirtschaftlich ergibt sich gesamthaft eine Einsparung, da die Suche aller beteiligten Hauptunternehmer nach den für sie günstigsten Subunternehmern oder Lieferanten entfällt.

Wahl des Submissionsverfahrens

Im In- und Ausland hat sich gezeigt, dass sogenannte *Pauschalaufträge* nach Submissionswettbewerben sich sehr nachteilig auf die Qualität auswirken. Es ist auch volkswirtschaftlich ein Nachteil, wenn, wie im Ausland teilweise die Regel, jeder Unternehmer zu jeder Submission ein Projekt oder einen Sondervorschlag ausarbeitet. Das muss auf die Dauer auf die Preise durchschlagen.

Am besten scheint uns: In der Regel ist ein möglichst gutes Projekt *bauseits* auszuarbeiten und dessen Ausführung nach Einheitspreisen im Akkord abzurechnen. Bei Unternehmervarianten, die aber bei guten Projekten relativ selten sind, kann man mit Massengarantie plus/minus 5%, wie im Stahlbau üblich, abrechnen. Bei grösseren Brücken führen wir *eingeladene Projektierungswettbewerbe* durch. Dabei wird den Unternehmern für den Bauvorgang grösstmögliche Freiheit eingeräumt.

Ausführung und Bauleitung

Beim Betonbau besteht die grosse Gefahr, nicht wieder gut zu machende Mängel einzubauen. Entscheidend ist daher, einen guten Unternehmer mit einem guten Bauführer und Polier zu wählen.

Um Unklarheiten und Nachforderungen zu vermeiden, haben wir im Band II unserer Weisungen [34] Ausführungsmitbestimmungen erlassen, welche regelmässig überarbeitet und den neuen Normen angepasst werden. Dadurch können alle Unternehmer unter den gleichen Bedingungen offerieren, arbeiten und abrechnen. Sie haben sich besonders bei internationalen Ausschreibungen (Rheinbrücken) als notwendig erwiesen und bewährt.

Wer bei der Überwachung von Neubauten oder Unterhaltsarbeiten spart, riskiert nicht nur eine teure Abrechnung, sondern auch Schäden und erhöhte Unterhaltskosten. Auch die *örtliche Bauleitung,* für die bei uns meist Ingenieurbüros eingesetzt werden, muss durch die Oberbauleitung *geführt* werden. Es gilt das Motto «Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser».

Literatur

[1] *Meyer B.:* «Strassen- und Brückenbau im Kanton Aargau». Schweiz. Ingenieur und Architekt, Heft 36, S. 770, 1981

[2] *Leohard F.:* «Rissschäden an Betonbrükken - Ursachen und Abhilfe». Beton- und Stahlbetonbau, Heft 2, S. 36, 1979

[3] *Rey E.:* «Comportement en service des ponts dans les alpes suisses». Strasse und Verkehr, Heft 9, S. 338, 1979 (Deutsche Fassung: Schweiz. Ing. u. Arch., Heft 38, S. 746, 1979)

[4] *Standfuss F.:* «Schäden an Strassenbrükken - Ursachen und Folgerungen». Strasse und Autobahn, Heft 30, 1979

[5] *Merminod Ch.:* «Die Gefahr der Betonkarbonatisation». Schweiz. Ing. u. Arch., Heft 24, S. 582, 1980 (Frz. Fassung: Ing. et arch. suisses, p. 82, 1980)

[6] *Saurer R.:* «Einige Probleme des Langzeitverhaltens und der Erhaltung von Brükken». Die Strasse, Heft 6, 1980

[7] *Rabe D.:* «Die Unterhaltung von Stahlbeton- und Spannbetonbrücken». Bauingenieur, Heft 56, 1981

[8] *Standfuss F.:* «Die Erhaltung von Strassenbrücken - Eine vordringliche Aufgabe der Strassenverwaltung». Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11, S. 257, 1981

[9] Aargauer Brücken. Separatdruck der Aarg. Kantonalbank, 1978

[10] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): Norm SIA 160 «Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten». Zürich, 1970

[11] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): Richtlinie 3 zu Norm SIA 160 «Periodische Untersuchungen der Brücken» mit Anhang «Hinweise für die konstruktive Gestaltung der Brücken». Zürich, 1975

[12] Bundesamt für Strassenbau. Musterpflichtenheft für die Überwachung und den Unterhalt der Kunstbauten. Bern, März 1979

[13] Schweiz. Bundesbahnen (SBB). Reglement über die Überwachung und den Unterhalt von Brücken, Hallen und Dächer. Januar 1957

[14] Recherche Routière: «Surveillance des ouvrages d'art». OCDE Information 76, Parix Cedex 16 (Engl. Fassung: «Bridge inspection»)

[15] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 1076 «Strassen- und Wegbrücken, Richtlinien für die Überwachung und Prüfung». Berlin, Dez. 1959 bzw. Entwurf April 1981

[16] Deutsche Bundesbahn. Vorschrift für die Überwachung und Prüfung von Kunstbauten (VUeP) DS 803

[17] *Landwehr E., Rossmüller H.:* «Suche nach optimalem Korrosionsschutz von tausalz- und steinschlagbeanspruchten stählernen Verkehrsbauwerken usw.». Zeitschrift für Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik, Heft 4, 1978

[18] *Diem P.:* «Zerstörungsfreie Prüfmethoden für das Bauwesen». Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1982

[19] *Stampf W.:* «Zum Problem der Isolierung und ihrer konstruktiven Details bei Strassenbrückenfahrbahnen». Planen und Bauen, Heft 11, 1977

[20] *Waasen H., Daldorf E.:* «Das Duplexsystem Feuerverzinken plus Beschichten». Feuerverzinken 1980/81

[21] Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz: «Beschichtungen auf Zink und verzinktem Stahl». Merkblatt Nr. 5, Frankfurt a/M, Juli 1978

[22] *Rösli A.:* «Schutz von Beton gegen Frost- und Frost-Tausalzschäden». ETH-Zürich, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, 1. und 2. Zwischenbericht, 1979

[23] *Grunau E.B. und Isink M.:* «Stahlbeton-Oberflächenschutz und Lebenserwartung». Bauverlag GmbH, Berlin 1981

[24] *Weyer P.:* «Schutzmassnahmen bei Ingenieurbauwerken aus Beton gegen Feuchtigkeits-, Frost- und Tausalzeinwirkungen». Strasse und Autobahn, Heft 4, 1980

[25] Bundesminister für Verkehr. Merkblatt für das Verpressen von Rissen mit Epoxydharzsystemen. Bonn, 1980

[26] Eignung von Verfahren zum Verpressen von Rissen mit Hilfe von Reaktionsharzen. Institut für Baustoffkunde TU Braunschweig, 1979

[27] *Zollikofer J.W.:* «Brückenbeläge in Beton». Betonstrassen Nr. 52/53, 1962

[28] *Bänziger D.J.:* «Statische Mitwirkung von Betondeckbelägen bei Brücken mit Betonfahrbahnplatten». Schweiz. Bauzeitung, Heft 15, S. 279, 1969

[29] *Woywod E. et al.:* «Der Brückenbau im Abschnitt Lenzburg-Neuenhof der N1». Strasse und Verkehr, Heft 9, 1970

[30] Eidg. Materialprüfungsanstalt: «Brückenübergangskonstruktion aus Stahlbeton, statische und dynamische Versuche». EMPA-Bericht Nr. 58 312/1, Dübendorf, Mai 1969

[31] Schäden in der Fahrbahndecke des Bünztalviaduktes. LPM-Labor, Beinwil a.S., Nr. A 492 vom 1.5.75

[32] Beurteilung von Kunststoffmörtelqualität. LPM-Labor, Beinwil a.S., Nr. A 1114 vom 7.9.78

[33] *Favre F.:* «Die Erneuerung von zwei Maillart-Brücken». Schweiz. Bauzeitung, Heft 17, S. 313, 1969

[34] Aarg. Baudepartement, Abt. Tiefbau/Brückenbau: «Weisungen für Kunstbauten». Band I «Projektierungsrichtlinien», Okt. 1981. Band II «Ausführungsvorschriften», 31.5.1972. Band III «Pflichtenheft für Bauleiter», in Überarbeitung

[35] Aarg. Baudepartement, Abt. Tiefbau: «Normalien II, Brückenbau». Aarau, 1978

[36] Eidg. Materialprüfungsanstalt: «Stossempfindlichkeit von Strassenbrücken». EMPA-Zwischenbericht F+E Nr. 1784/1, Nov. 1979

[37] Eidg. Departement des Innern: «Schweizerische Nationalstrassen. Standardprojekte für Brücken. Konstruktive Einzelheiten». D 340, EDMZ Bern, 1973

[38] *Woywod E.:* «Der Brückenbau im Abschnitt Rheinfelden-Frick der N3». Strasse und Verkehr, Heft 11, 1974

Besonders bei Unterhaltsarbeiten, wo man ständig vor neuen Situationen steht, ist der Aufwand für die Überwachung gross.

Bei Offerten und Verträgen müssen die Aufgaben der örtlichen Bauleitung *klar* sein. Das *Pflichtenheft für Bauleiter* [34], das zurzeit überarbeitet wird, enthält die allgemein, d. h. für alle Bauvorhaben gültigen Aufgaben und Bestimmungen. Es dient zugleich dem Bauleiter als Richtschnur für seine Arbeit. Für die Bauleitung werden möglichst immer die gleichen, im Brückenbau erfahrenen Bauleiter eingesetzt. Normalerweise wird dabei der Tarif A (in Prozent der Bausumme) der SIA-Honorarordnung angewendet.

Umfahrungen, Ein- und Ausbau von Hilfsbrücken, Hilfe bei der Oberbauleitung oder Einsätze für die SBB werden separat nach Tarif B (nach Aufwand) vergütet.

Wenn eine saubere Trennung von Tarif A und B schwierig ist, wird die gesamte örtliche Bauleitung nach Tarif B vereinbart.

In jedem Fall kommt es auf eine *gute Zusammenarbeit* zwischen Oberbauleitung und örtlicher Bauleitung einerseits und dem Bauunternehmer mit seinen Unterakkordanten andererseits an.

Schlusswort

Der bauliche Unterhalt der Kunstbauten ist sehr interessant und vielseitig, aber auch sehr arbeitsintensiv und manchmal aufwendig. Wenn *wertvolles Volksvermögen* erhalten werden soll, darf man in den Anstrengungen jedoch nicht nachlassen. Wichtig ist, dass der leitende Ingenieur oder Sachbearbeiter mit der Zeit die Bauwerke und die Sanierungsmethoden kennt und seine Erfahrungen den projektierenden Ingenieuren weitergeben kann.

Da die Grenzen zwischen baulichem Unterhalt, teilweiser Erneuerung und Neubau schwer zu ziehen sind und dabei oft die gleichen Probleme auftreten, hat sich die Organisation des Aargaus, welche Bau und Verwaltung der Kunstbauten *dem gleichen Team* überträgt, bewährt. In diesem Team hat zudem jeder Mitarbeiter ein oder mehrere Spezialgebiete wie z.B. Korrosionsschutz, Geländer, Betontechnologie, Vorspannung oder Stahlbau und die dazugehörige Dokumentation mit Literatur, Prospekten und Mustersammlungen zu betreuen.

So ist auch die vorliegende Beitragsreihe *ein Teamwork*. Namentlich erwähnt sei Herr *H. Hürzeler,* der die Abschnitte «Schäden an Stahlkonstruktionen und Rostschutz» und «Korrosionsschutz» entworfen hat. Die Autoren möchten ihm und allen anderen, die ungenannt mitgearbeitet haben, herzlich danken.

Adresse der Verfasser: *E. Woywod,* Dipl.-Ing. SIA, Brückeningenieur, *M. Milosavljevic,* Dipl.-Ing. SIA, und *B. Lazic,* Dipl.-Ing. SIA, Aarg. Baudepartement, Brückenbau, Buchenhof, 5001 Aarau.