

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 40

Artikel: Gesamterneuerung Kornhausbrücke: Projekt und Ausführung
Autor: Hager, Hans R. / Schneider, Günter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79803>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

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

Hans R. Hager, Günter Schneider, Bern

Gesamterneuerung Kornhausbrücke

Projekt und Ausführung

Im Folgenden werden die Zustandserfassung, die Zielsetzungen für die Gesamterneuerung, besondere Aspekte der statischen Berechnungen sowie die konstruktive Gestaltung der neuen Bauteile aufgezeigt. Es wird auch auf spezielle Probleme bei der elastischen Tramschienenlagerung sowie neuartige Fugenübergänge mit Schienendurchdringung eingegangen. Beschrieben werden noch die Stahlbauarbeiten und die nachfolgende Sanierung des Korrosionsschutzes wie auch weitere Umbau- und Ergänzungsarbeiten am Unterbau.

Während der Projektierungsphase 1994/95 waren praktisch alle wichtigen Bauteile der Brücke, soweit diese ohne Gerüst zugänglich waren, umfassend inspiziert und bezüglich Funktionstauglichkeit kontrolliert worden. Diese Zustandsuntersuchungen ergaben folgendes Bild:

▪ **Fahrbahnplatte, Abdichtung, Belag:** Der zementöse Fahrbahnbelag mit der darunterliegenden Abdichtung war stark beschädigt (Bild 1); die Abdichtung haftete nicht mehr einwandfrei an den nicht einbetonierten Schienenköpfen, so dass Was-

ser ungehindert in die Betonplatte eindringen konnte und anschliessend durch die Anschlussstellen Buckelbleche/Trägeroberflansche auf die Stahltragkonstruktion tropfte (Bild 2).

Der schwimmend verlegte Gussasphalt der Gehwege wies Risse auf; eine Abdichtung fehlte.

Der Beton der Gehwegplatten war noch brauchbar, musste jedoch vor Umwelteinwirkungen geschützt werden.

Die Fahrbahnübergänge befanden sich in schlechtem Zustand: undicht, lärmintensiv, teilweise defekt und nicht mehr funktionsfähig.

▪ **Tramschienen:** Die einbetonierten Tramschienen waren überaltert und mussten komplett ersetzt werden. Einzelne Schienendilatationen waren kürzlich ausgewechselt worden, bei den übrigen war dies dringend notwendig.

▪ **Korrosionsschutz:** Der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktionen (ausgeführt 1982-84) war seinem Alter entsprechend in relativ gutem Zustand. An exponierten Stellen, im Bereich der Fahrbahnübergänge über den Pfeilern oder infolge der undichten Fahrbahnplatte bei den Anschlüssen der Buckelbleche an die Längs- und Querträger war er sanierungsbedürftig

(Bild 3). Bei den Bogen gab es zahlreiche Stellen mit Tiefenrost zwischen den Stahllamellen.

Der Deckanstrich der Brückengeländer war vor allem auf den Aussenseiten fast vollständig abgewittert und musste erneuert werden.

▪ **Stahltragkonstruktion:** Einzelne Elemente der Stahltragkonstruktion waren bereits bei der jetzigen Nutzung überbeansprucht. Infolge schlechter Zugänglichkeit für den Unterhalt und undichter Fugenübergänge waren die Endquerträger teilweise durch Rost sehr stark beschädigt (Bild 4).

Die Lager des Überbaus waren mit der Stahltragkonstruktion verschweisst, so dass Unterhaltsarbeiten oder das Auswechseln eines defekten Lagers unter Verkehr verunmöglicht waren. Sie waren deshalb bezüglich Funktionstauglichkeit zu überprüfen.

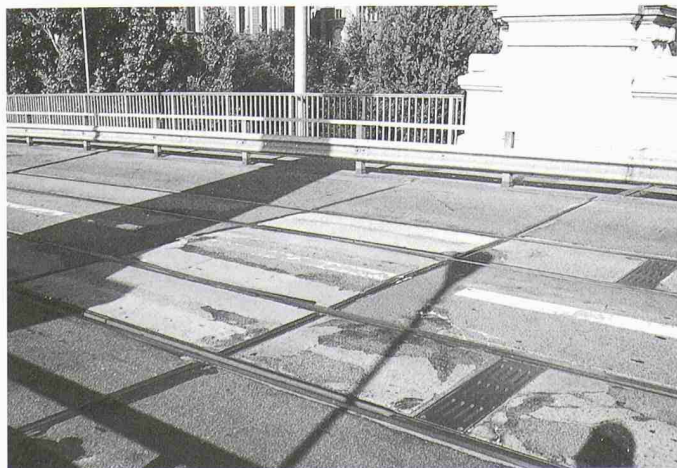
▪ **Leitschranken:** Die Leitschranken genühten den Sicherheitsanforderungen nicht mehr. Die Verankerungen der Pfosten in der dünnen Gehwegplatte waren zu schwach und würden einem Anprall nicht standhalten.

▪ **Entwässerung:** Die Brückenentwässerung war teilweise sanierungsbedürftig. Auf der ganzen Länge des grossen Bogens fehlten die aussenliegenden Dachrinnen entlang der Gehwegandräger.

▪ **Pfeiler, Widerlager:** Die Massivpfeiler waren allgemein in gutem Zustand. Das Natursteinmauerwerk wies aussen Bewit-

1

Belagsschäden: Flickstelle an Flickstelle, hier im Bereich der doppelten Dilatationsfuge bei grossem Pfeiler



2

Buckelblechbeschädigung bei Betonabbruch 1970: Jetzt Durchgangsöffnung für in die Betonplatte eingedrungenes Wasser





3

Korrosionsschäden an der Stahlkonstruktion



4

Endquerträger: Überreste des Obergurts nach 100 Jahren Korrosion

terungsspuren auf. Besonders im oberen Bereich mussten die Steinfugen saniert werden. Zwängungsbewegungen als Folge teilweise unklarer Lagerungsbedingungen hatten weitere Schäden an Auflagersteinen und Mörtelfugen verursacht.

Brückenausrüstung: Die Werkleitungen waren mit Ausnahme des Swiscomkanals, der ersetzt werden musste, funktionstüchtig. Einzelne Teile der übrigen Brückenausrüstung wiesen Erneuerungsbedarf auf: Beleuchtungskörper, Anstrich der Fahrleitungsmasten und Beleuchtungskandelaber sowie Befestigungselemente (Lärm).

Die Zugänglichkeit für Kontrollen und Unterhaltsarbeiten im Bereich über den Massivpfeilern sowie bei den Widerlagern war nicht vorhanden oder sehr unbefriedigend.

Zusammenfassend musste festgestellt werden, dass mit der Sanierung bzw. Gesamterneuerung - mindestens der Fahrbahnkonstruktion - nicht mehr länger zugewartet werden konnte.

Zielsetzungen

Sämtliche Projektziele wurden 1993 in umfangreichen Nutzungs- und Sicherheitsplänen für die Gesamterneuerung festgelegt. Daraus seien nachstehend die Hauptpunkte aufgeführt:

- Wirtschaftlichkeit
- Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit für die nächsten 50 Jahre
- Sicherheit im Betrieb
- Aussehen: Erhalten des bisherigen Erscheinungsbilds

- Dauerhaftigkeit, Funktionstüchtigkeit: Optimale Voraussetzungen für den Unterhalt
- Umweltverträglichkeit
- Lärmreduktion: erhebliche Reduktion der durch starke Vibrationen (Tram) verursachten Lärmemissionen.

Die Erfahrungen während der Ausführung sowie - nach einigen Jahren unter Verkehr - erste Anhaltspunkte bezüglich der Dauerhaftigkeit der Gesamterneuerung der Kirchenfeldbrücke wurden beim Projekt für die Gesamterneuerung der Kornhausbrücke berücksichtigt.

Statische Berechnungen

Lastannahmen

Als massgebende Gefährdungsbilder wurden der öffentliche Verkehr (Tram- oder Buskolumne) sowie die Einwirkungen aus dem Individualverkehr untersucht. Da auf der Brücke die Höchstgeschwindigkeit auf 40 km/h und das zulässige Gesamtgewicht für den Individualverkehr auf 10 Tonnen limitiert ist (mit entsprechender Beschilderung), konnten die Verkehrslasten, konkret das Lastmodell 1, und die entsprechenden Stosszuschläge gegenüber der Norm SIA 160 reduziert werden: Beim Gefährdungsbild «öffentlicher Verkehr» wurden die effektiven Betriebsgewichte der Fahrzeuge mit den effektiven Achsabständen und Radlasten eingesetzt und beim Gefährdungsbild «Individualverkehr» die vier Radlasten der Achsgruppe auf 4 x 50 kN reduziert. Dies entspricht gesamthaft einer mittleren Reduktion der Nutzlasten um einen Drittel.

Bereits bei der Erneuerung der Kirchenfeldbrücke wurden die Betriebsge-

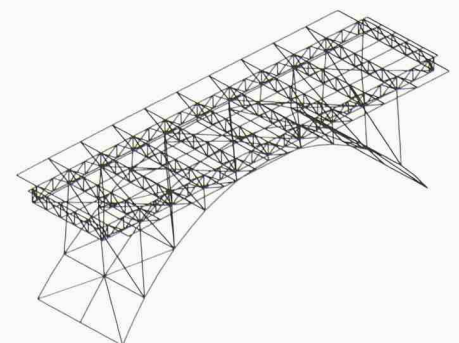
wichte der heute vorhandenen Fahrzeuge der Städtischen Verkehrsbetriebe Bern (SVB) für die statischen Berechnungen eingesetzt. Bei der Zulassung von neuen Fahrzeugen müssen damit die nun festgelegten Gesamtgewichte, d.h. die sich daraus ergebenden Linien- und Achslasten, eingehalten werden.

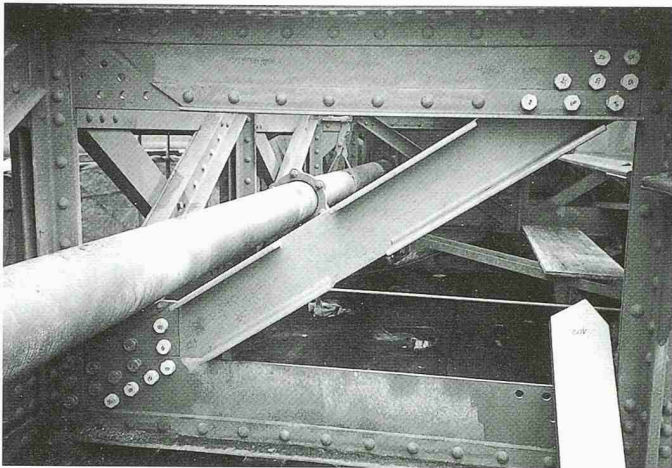
Statische Systeme

Alle Berechnungen wurden an den drei vorkommenden Tragsystemen, nämlich den Endfeldern als einfachen Balken, den kleinen Bogen mit der Spannweite von 34,42 m und dem grossen Bogen mit der Spannweite von 114,86 m durchgeführt.

Bei allen drei Systemen wurden die Tragelemente möglichst vollständig formuliert, nämlich Betonplatte als Schale, Längsträger, Querträger und der grosse Bogen als Fachwerke sowie Sekundärlängsträger, Gehwegrandträger, Stützen, Windverbände und der kleine Bogen als Einzelstäbe (Bild 5). Für die Berechnun-

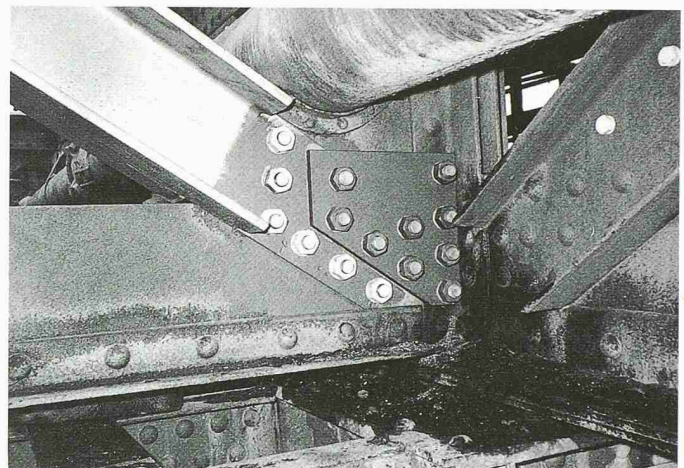
5
Tragstruktur des kleinen Bogens (ohne Betonplatte)





6

Querträger grosser Bogen. Neue Druckdiagonale (HEB 180) mit Auslinkungen. Die neue Zugdiagonale liegt bereit für den Einbau



7

Querträger grosser Bogen: Anschlussdetail. Neue Druckdiagonale mit Knotenblech

gen wurde ein modernes FE-Programm eingesetzt.

Tragsicherheit

Der vollständige Verbund der neuen Betonfahrbahnplatte mit der Stahlkonstruktion des Überbaus mit Hilfe von auf den Obergurten aufgeschweissten Kopfbolzendübeln bewirkt eine bessere Lastverteilung auf die einzelnen Traglelemente als bisher. Mit den immer besseren und verfeinerten Berechnungsprogrammen konnten diese Lastverteilungen genauer erfasst und somit in den statischen Nachweisen auch berücksichtigt werden.

Folgende Einzelstäbe der Stahltragkonstruktion wiesen einen zu geringen Tragwiderstand auf und mussten ausgetauscht oder verstärkt werden:

- Kleine Bogen: Alle Hauptquerträger: Ersatz der äussersten Druckdiagonalen

- Grosser Bogen: Alle Hauptquerträger: Ersatz der äussersten Zugdiagonalen, Ersatz der äussersten Druckdiagonalen, Aufdoppelung einer Lasche bei den zweitäussersten Druckdiagonalen. Hauptlängsträger: Aufdoppelung von Laschen bei den Druckdiagonalen, Ersatz der ersten Zugdiagonalen bei den Pfeilern

Hauptsächlich zwei verschiedene Typen von Verstärkungsarbeiten wurden ausgeführt: entweder mussten ganze Stäbe (Druck- oder Zugstäbe) mit stärkeren Profilen ersetzt werden oder es konnte bei Druckstäben die Aufdoppelung einer Lamelle genügen, um die zu geringe Knicksteifigkeit auf das erforderliche Mass zu erhöhen. Zum Herauslösen eines einzelnen Stabs aus der Gesamtkonstruktion muss-

ten bei den Knoten sämtliche Nieten - ohne Zerstörung des im Bauwerk verbleibenden Stahls - entfernt werden. Mit der Trennscheibe wurden auf einer Seite die Nietköpfe abgetrennt und die Nieten anschliessend mit dem Hammer herausgeschlagen. Die Bohrungen, die für die Nietverbindungen nicht zwingend genau übereinander gelegen hatten, wurden ausgegraben, bis HV-Schrauben mit Passsitz eingesetzt und vorgespannt werden konnten.

Pro Etappe der kleinen Bogenfelder mussten total 22 Druckstäbe der Hauptquerträger ersetzt werden, was bei den Anschlussknoten den Ersatz von insgesamt 480 Nieten mit HV-Schrauben erfordert. Im grossen Bogen, der in drei Etappen aufgeteilt ist, gab es einiges mehr zu tun. Pro Etappe mussten bei den Querträgern insgesamt je 8 Druck- und Zugstäbe ersetzt werden (Bild 6), dazu kamen 16 aufgedoppelte Lamellen und am Anschlusspunkt der äussersten Druckdiagonalen noch 8 Knotenbleche (Bild 7). Im Gegensatz zu den kleinen Bogen mussten hier auch die Hauptlängsträger verstärkt, mit hin nochmals 32 Lamellen aufgedoppelt sowie zwei Zugstäbe ausgewechselt werden. Alle diese Verstärkungen erforderten den Ersatz von 400 Nieten durch M22-HV-Schrauben und weitere 800 neue M12-HV-Schrauben pro Etappe.

Alle übrigen tragenden Teile der Stahlkonstruktionen, insbesondere der gesamte Unterbau mit den Bogen und Stützen, wiesen eine genügend grosse Tragsicherheit auf.

Gebrauchstauglichkeit, Verformungen

Die Grenzwerte der Durchbiegungen unter Nutzlasten waren im Allgemeinen

eingehalten und nur bei den Hauptquerträgern leicht überschritten. Die deswegen erforderlichen Verstärkungen aller Untergurte der Hauptquerträger wären jedoch unverhältnismässig und wurden nicht ausgeführt.

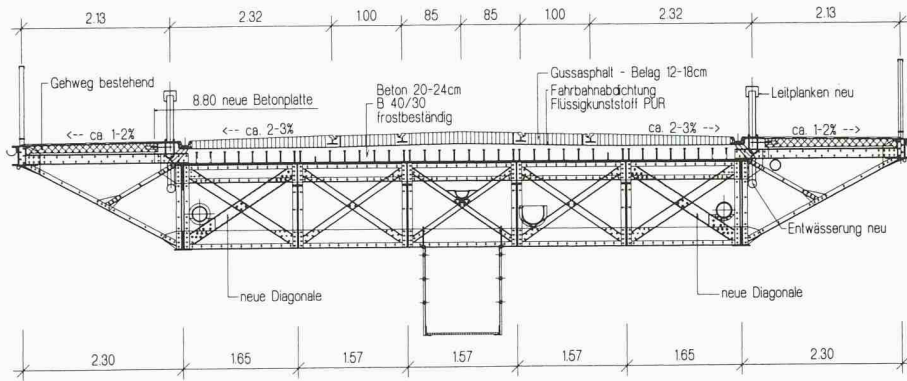
Ermüdung

Für die Bemessung der Armierung der neuen Betonfahrbahnplatte sowie für die Bemessung der Schubdübel war die Ermüdungsfestigkeit des Stahls massgebend.

Fahrbahnplatte, Gehwegplatte, Abdichtung, Belag

Fahrbahnplatte: Gleichzeitig mit dem Abbruch der alten Betonplatte mit den einbetonierten Tramschienen wurden auch die Buckelbleche herausgeschnitten. Die neue Betonplatte im Bereich der Fahrbahn ist so konzipiert, dass auch zukünftige Erneuerungsarbeiten oder Nutzungsänderungen möglich sind (Bild 8). Ihre ebene Oberfläche erlaubt den Aufbau von verschiedenen Schienenlagerungssystemen sowie deren Umbau. Die Betonplatte ist durch Schubdübel mit den Obergurten der Stahltragkonstruktion verbunden. Ausserhalb der Hauptlängsträger wurde die Fahrbahnplatte etwas verbreitert und erhöht, damit die Gehwegplatten gehalten und die Leitschrankenpfosten verankert werden konnten.

Die Ausarbeitung wie auch die anschliessende Überprüfung der Präventivmassnahmen gegen die Korrosion als Folge von Makroelementen und Streuströmen bei Gleichstrombahnen (Tram) wurde einer Spezialfirma für Fahrleitungs-



8

Normalquerschnitt: Bereich kleiner Bogen

bau übergeben. Ein wirksamer Schutz gegen Streuströme wird über die Trennung der einzelnen Erdungssysteme erreicht, d.h. die Tramschienen samt den mit Dübeln auf der Betonplatte befestigten Rippenplatten müssen von allen übrigen Strukturen (Stahltragkonstruktion, Armierung, Werkleitungen usw.) isoliert werden. Schon eine ungewollte Kontaktstelle ermöglicht den Streustromfluss über die Werkleitungen in den Boden, zwei oder mehrere Kontaktstellen ermöglichen den Fluss des Traktionsstroms über die Brückenkonstruktion, was unter allen Umständen zu verhindern ist.

Drei verschiedene Massnahmen stellen sicher, dass diese elektrische Trennung auch tatsächlich erreicht wird. Die obere Bewehrung der Brückenplatte wurde abgestimmt auf die Anordnung der Rippenplatten zur Schienenfixierung verlegt. Die Dübel zur Fixierung der Rippenplatten wurden vor dem Einbau pulverbeschichtet. Zwischen den Rippenplatten und den Dübeln sowie Befestigungsmuttern wurde zusätzlich eine Kunststoffisolation eingelegt. Die zwingende elektrische Trennung galt natürlich auch für die Fahrleitung. Zwischen dieser und den seitlich an der Brücke befestigten Masten wurde daher eine dreifache Isolation eingebaut. Die nach der Inbetriebnahme durchgeführten Potentialmessungen haben gezeigt, dass die elektrische Isolierung der Gleisanlage gelungen ist und keine Gefahr von vagabundierenden Streuströmen zu erwarten ist.

Gehwegbetonplatte: Die 1982 erstellten Betonplatten der Gehwege waren bisher weder mit einer Abdichtung geschützt gewesen noch hatte der schwimmend darauf verlegte Gussasphalt auch nur einen beschränkten Schutz gegen Wasserzutritt geboten. Dies hatte zur Folge, dass durch die Arbeitsfugen in den Gehwegplatten tausalzhaltiges Wasser auf die Obergurte der

Stahlkonstruktion gelangte, zwischen Beton und Stahl unkontrollierbar weiterfloss, irgendwo als rostige Brühe wieder zum Vorschein kam und dort den Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion angriff und zerstörte.

Die neue Abdichtung wurde bis über die Gehwegrandträger und die darauf befestigten Abtropfbleche geführt. Der rund 30 mm dicke Gussasphalt wurde von Hand auf die Abdichtung aufgebracht, um zu gewährleisten, dass der Beton und die Stahlkonstruktion optimal geschützt sind und das Oberflächenwasser kontrolliert in die aussenliegenden Entwässerungsrinnen abfließt.

Abdichtung: Als Schutz der gesamten Tragkonstruktion vor schädlichen Einflüssen wurde sie mit einer Polyurethan-Flüssigfolie abgedichtet, die über die ganze Brückenbreite und die Oberseite der Stahlrandträger verläuft. Sie zeichnet sich durch hohe Elastizität, hervorragende Haftfestigkeit sowie durch einfache Ausführbarkeit von komplexen Anschlüssen aus und garantiert die Rissüberbrückung. Die Anforderungen bezüglich Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Stabilität im Zusammenhang mit den konstruktiven Bedingungen der Schienenbefestigungen können damit optimal erfüllt werden.

Die kugelgestrahlte Betonoberfläche wurde vorgängig auf Epoxidharzbasis grundiert. Diese Grundierung wurde in zwei Schichten aufgebracht und jeweils mit Quarzsand abgestreut, um die Poren zu schliessen. Darauf wurde die Flüssigfolie aufgespritzt, wobei die beiden Komponenten sich erst in der Düse mischten. Die Aushärtung geschieht dabei innert Sekunden, so dass es während der Ausführung kaum mehr Korrekturmöglichkeiten gibt.

Belag: Im Fahrbahnbereich wurde ein mehrschichtiger, bis zu 18 cm starker Guss-

asphalt aufgebracht, in dem während des Einbaus die Schienenkanäle ausgespart wurden. Im Bereich der Gehwege genügen 3 cm Gussasphalt, die auf einer Trennfolie schwimmend eingebaut wurden. Wegen der grossen Gesamtdicke des Belags (die Schienen mit elastischer Lagerung müssen darin eingebettet werden) war der Einbau in drei Schichten notwendig. Die Abschaltungen für die Schienenkanäle verunmöglichten den Einsatz einer Einbaumaschine, so dass die beiden ersten Schichten von Hand einzubringen waren. Der Einbau der Deckschicht konnte teilweise maschinell erfolgen.

Elastische Gleislagerung/Lärmverminderung

Die Gesamterneuerung sollte auch den Verkehrslärm vermindern, soweit dies finanziell tragbar war bzw. Kosten und Nutzen in einem angemessenen Verhältnis zueinander standen. Es war bei der Kornhausbrücke offensichtlich, dass die stärksten Schallemissionen durch das Tram verursacht werden, weshalb hauptsächlich der von der Brücke abgestrahlte Körperschall reduziert werden musste.

Die Ausgangslage war messtechnisch erfasst und analysiert worden. Die dominierende Schallfrequenz lag bei 100 Hz. Als Folge der Frequenzbewertung bei der Schallpegelmessung (A-Bewertung) spielten aber auch die höherfrequenten Schwingungen bis gegen 1000 Hz eine bedeutende Rolle. Grundsätzlich sind Schall und Erschütterungen möglichst nahe an der Quelle zu bekämpfen. Konstruktive Randbedingungen, Dauerhaftigkeit und Sicherheit im Betrieb sind von erheblicher Bedeutung. Erschwerend war die Tatsache, dass im Gleisbereich auch Pneufahrzeuge verkehren.

Das Anforderungsprofil für das elastische Schienenlagerungssystem wurde nach den folgenden Kriterien definiert:

- Verträglichkeit, d.h. geringes Zusatzgewicht, kleine Bauhöhe, Materialeigenschaften
- Realisierbarkeit, d.h. normale Toleranzen, witterungsunempfindlich, unkompliziert
- Sicherheit im Betrieb, d.h. Spurtreue, Stabilität der Schiene horizontal und vertikal, Dilatationen und Entwässerung der Schienen
- Gebrauchstauglichkeit, d.h. dauerhaft, unterhalts- und reparaturfreundlich (möglichst wenig Längs- und Querfugen), kein Eindringen von Wasser
- Wirksamkeit, d.h. merkbare Verringerung des Lärms

- Kostengünstig, d.h. wirtschaftlich tragbar
- Referenzen, d.h. keine Experimente mit Systemen ohne Erfahrung.

Naturgemäss kamen sich die verschiedenen Kriterien gegenseitig in die Quere, wie z.B. Lärmverminderung/Gewicht, Stabilität/Elastizität, oder dauerhaft/kostengünstig.

Grösste Wirksamkeit bei der Lärmverminderung bieten sog. «Masse-Feder-Systeme». Aus einer ganzen Reihe von unterschiedlichsten Varianten blieben nach eingehender Prüfung nur deren drei übrig, die allen Anforderungen in einer ausgewogenen Weise gerecht wurden:

▪ Variante «Gleisplatte»: Ein 150 cm breites und 15 cm dickes Mini-Masse-Federsystem aus einer elastisch auf der Fahrbahn gelagerten Stahlplatte mit starr darauf befestigten Schienen, separaten seitlichen Stahlabschalungen gegen den Gussasphalt mit elastischer Zwischenlage, ausgefüllt mit Spezialbeton (Bild 9).

▪ Variante «Schienenkanal aus Stahl»: Jede einzelne Schiene wird in einem Stahlkanal elastisch gelagert, der seinerseits starr auf die Fahrbahnplatte geschraubt wird (Bild 10).

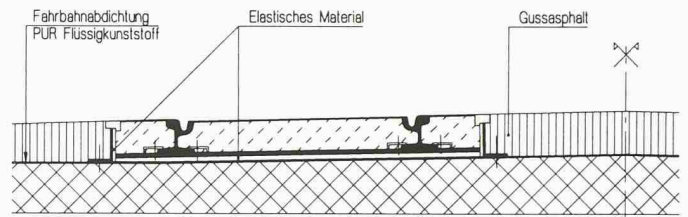
▪ Variante «Kirchenfeldbrücke»: Die einzelnen Schienen werden in die im Gussasphalt ausgesparten Kanäle verlegt und anschliessend mit einem elastischen Kunststoffmaterial ausgegossen. Um eine wirksame Lärmverminderung zu gewährleisten, sollen unter der Schiene und unter den Schienendilationskästen minimal 30 mm, und um ein zu grosses Einfedern unter den Radlasten zu verhindern, maximal 50 mm elastisches Material liegen. Zur Gewährleistung der Spurtreue werden die Schienen alle fünf Meter seitlich durch ebenfalls elastisch gelagerte Rippenplatten gehalten, die mit Schrauben und Federringen an der Fahrbahnplatte fixiert sind (Bilder 11 und 12).

Die Wahl fiel schliesslich auf die verbesserte Variante «Kirchenfeldbrücke».

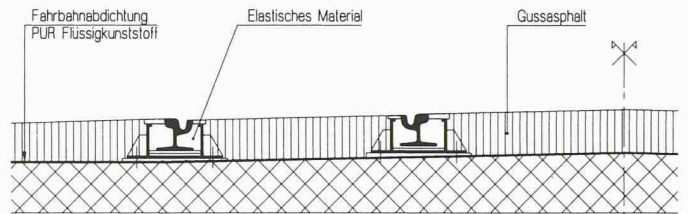
Brückenentwässerung

▪ Fahrbahn: Die Fahrbahn weist beidseitig ein Quergefälle von 2 bis 3% auf, womit eine gute Entwässerung der Fahrbahn in die am Rand, unmittelbar neben den Leit-schranken liegenden, abgedeckten Längsrinnen gewährleistet ist. Ein kleiner Teil des anfallenden Wassers wird zudem mit den Schienenentwässerungsabläufen ab-

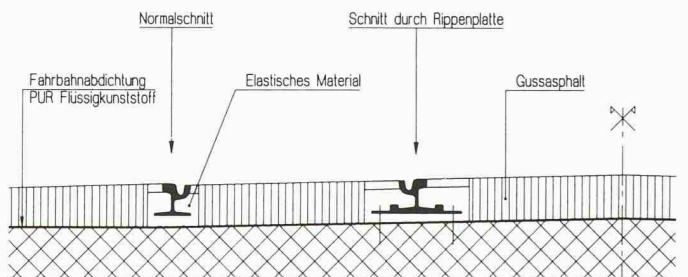
9 Schienenlagerung Variante «Gleisplatte»



10 Schienenlagerung Variante «Schienenkanal»



11 Schienenlagerung Variante «Kirchenfeldbrücke»



geführt, die unmittelbar vor den Fugenübergängen angeordnet wurden.

Alle 15 m wurden die Rinnen an die neuen, unter den beiden Gehwegen befestigten Hauptlängsleitungen angeschlossen. Fallrohre bei den Pfeilern leiten das Wasser anschliessend in die Kanalisation.

▪ Gehwege: Da die 1982 erstellten Gehwegbetonplatten bestehen bleiben, wurde das jetzige Quergefälle nach aussen (rund 1 bis 3%) nicht verändert. Anfallendes Regenwasser wird in den aussen am Trottoirrandträger befestigten Kupferblechrinnen aufgefangen und von diesen in die Hauptlängsleitungen der Entwässerung geführt.

Fugenübergänge

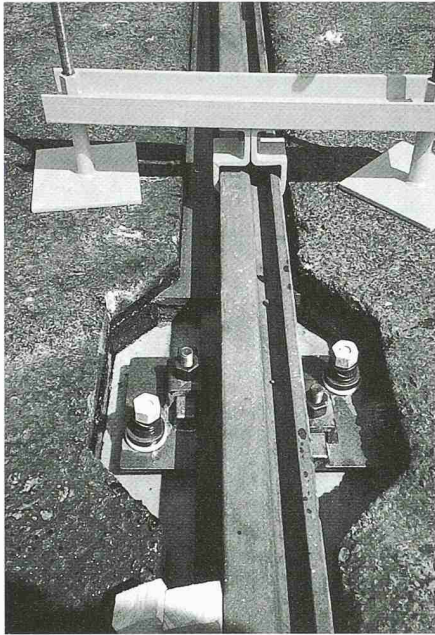
Die Ausbildung der Fugenübergänge wurde durch die sich auf gleicher Höhe befindenden Schienen mit den anschliessenden Schienendilationskästen erheblich erschwert. Die vorhandenen Fugenübergänge sowie auch die 1988 bei der Kirchenfeldbrücke eingebauten Fugenübergänge aus Stahl mit Gummidichtungen stellten eine grosse Lärmquelle dar, die die erzielte Lärmverminderung dank der elastischen Schienenlagerung wieder aufheben. Die temperaturabhängigen Längsbewegungen bei den Dilatationsfugen zw-

ischen dem grossen und den angrenzenden kleinen Bogen können bis zu ± 35 mm erreichen. Aus diesen Gründen entschied man sich für den Einbau einer dauerelastischen Fuge aus Polymerbitumen.

Das Problem der «Kreuzung» der Fugenübergänge mit den Schienen und mit den Entwässerungsrinnen wurde wie folgt gelöst: Lokale Vertiefungen in der Fahrbahnplatte im Bereich der Schienen und Entwässerungsrinnen sichern eine genügend dicke, darunter liegende Schicht Fugenmaterial, um das elastische Verhalten des Materials und die Dichtigkeit zu ermöglichen. Zusätzlich wurden die Schienen und die Entwässerungsrinnen mit einer nicht klebenden Trennfolie eingepackt, um eine einwandfreie Bewegung bei temperaturabhängigen Längenänderungen der Brücke zu gewährleisten.

Stahlbauarbeiten

▪ Kopfbolzendübel: Für einen kompletten Verbund der Fahrbahnplatte mit der Stahltragkonstruktion wurden auf den Oberflanschen aller Längs- und Querträger insgesamt 37000 Kopfbolzendübel aufgeschweisst. Die vorstehenden Nietköpfe auf den Oberflanschen der Stahlträger verunmöglichten den Einsatz von Bolzen-



12

Verlegte und gerichtete Schiene mit Rippenplatte

schweissapparaten, weshalb alle Kopfbolzendübel von Hand aufgeschweisst werden mussten.

▪ Ersatz von korrodierten Stäben: Die statisch erforderlichen Verstärkungsarbeiten an der Stahlkonstruktion gingen aus den umfangreichen Berechnungen hervor; sie sind bereits weiter oben beschrieben worden. Sie bewirkten keine Veränderung des Erscheinungsbilds. Obwohl bei den Endfeldern keine Verstärkungsarbeiten an der Stahlkonstruktion nötig waren, hielt bereits der erste Querträger, d.h. der Endquerträger beim Widerlager Seite Nord die erste Überraschung bereit. Nicht einmal 5 cm von der Widerlagerrückwand entfernt und deswegen während 100 Jahren nie mit einem Pinselstrich Korrosionsschutzfarbe versehen und infolge des undichten Fugenübergangs der Berieselung mit im Winter tausalzhaltigem Wasser ausgesetzt, zeigten die einzelnen Stahlprofile der zusammengenieteten Stahlkonstruktion arge Korrosionsspuren.

Nach einer genauen Beurteilung auf der Baustelle sowie teilweise statischen Nachrechnungen mit reduzierten Profilquerschnitten wurde entschieden, welche Einzelstäbe zu ersetzen waren (Bild 13).

Die Endquerträger bei den grossen Pfeilern sowie beim Widerlager auf der Südseite befanden sich in einem ähnlich schlechten Zustand.

▪ Nietkontrolle: Sämtliche Nieten wurden während der Bauarbeiten visuell geprüft

und - sofern erforderlich - durch HV-Schrauben ersetzt.

▪ Lager: Sämtliche Lager des Überbaus wurden durch neue, funktionstaugliche und zwängungsfreie Topfgleitlager ersetzt, die später auch unter Verkehr unterhalten oder ausgewechselt werden können.

Korrosionsschutz

Gemäss Nutzungsplan darf die Tragsicherheit der Stahltragkonstruktion in den nächsten 25 Jahren infolge mangelhaften Korrosionsschutzes nicht eingeschränkt werden. Das vorhandene, aus den Jahren 1982-84 stammende Beschichtungssystem befand sich generell in einem relativ guten Zustand und wies nur lokale Roststellen auf, so dass eine Totalsanierung der gesamten Stahlkonstruktion mit Farbentfernung und Entrostung mit Sandstrahlen aus ökologischen wie auch aus ökonomischen Gründen nicht in Betracht gezogen wurde. Damit kamen zwei verschiedene Sanierungsarten zur Anwendung: «harte» Sanierung der Roststellen sowie «sanfte» Sanierung der übrigen Flächen mit intaktem Korrosionsschutz.

Unterbau

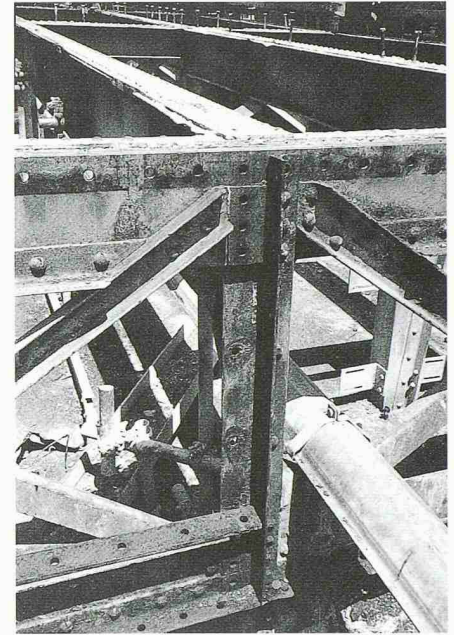
Im Unterbau waren die Roststellen sehr zahlreich, jedoch flächenmässig sehr klein (wenige Quadratdezimeter) und machten etwa 10% der Gesamtfläche aus. Die Sanierung des Korrosionsschutzes des Unterbaus erfolgte deshalb mit Produkten auf der Basis der 1982-84 verwendeten Materialien, nämlich Bleimennige und Chlorkautschuk (für Kleinunterhalt nach wie vor erlaubt), um die Verträglichkeit des alten und neuen Anstrichs zu gewährleisten.

▪ Harte Sanierung bei den lokalen Roststellen:

- Oberflächenvorbereitung: Sandstrahlen Sa 2½ oder Handentrostern St 3 mit mechanisch betriebenen Geräten
 - Grundierung: 2 × 50 µm mittlere Trockenschichtdicke Bleimennige; Applikation mit Pinsel und Roller
 - Deckanstriche: 2 × 70 µm mittlere Trockenschichtdicke Eisenglimmer, Basis Chlorkautschuk; Applikation gespritzt mit Hochleistungs-Airless
- Gesamtrockenschichtdicke neue Anstriche: Mittelwert 240 µm, Mindestwert 120 µm.

▪ Sanfte Sanierung bei intaktem Anstrich:

- Oberflächenvorbereitung: Reinigung der bestehenden Beschichtung, Oberfläche musste staub- und fettfrei sein



13

Endquerträger: Ausgebauter Pfosten (LNP 90) und oberer Gurtwinkel (LNP 90), die infolge der Rostschäden ersetzt werden mussten

- 1. Deckanstrich 70 µm mittlere Trockenschichtdicke Eisenglimmer, Basis Chlorkautschuk, mit Zugabe von 10% Originallösungsmittel, damit die alte Deckbeschichtung leicht anquoll und dadurch eine gute Verbindung mit dem neuen Anstrich entstand
- 2. Deckanstrich 70 µm mittlere Trockenschichtdicke Eisenglimmer, Basis Chlorkautschuk; Applikation gespritzt mit Hochleistungs-Airless

Bei diversen Lamellenstössen (Bild 14) sowie bei den Anschlüssen verschiedener Stäbe des Bogenfachwerks des grossen Bogens hatten sich im Laufe der Zeit richtige Rostpakete, sogenannter Tiefenrost, gebildet. Bei den bisherigen Sanierungen war dieser Tiefenrost nur oberflächlich entfernt und mit neuer Farbe überdeckt worden, so dass der Rost sich darunter weiter ausgebreitet hatte. Die Entfernung dieses Tiefenrosts wurde mit mechanisch betriebenen Geräten (Meissel, Nadelhammer, Trennscheibe usw.) ausgeführt, wobei in der Anfangsphase einige Geduld nötig war, um die jeweils erfolgversprechende und richtige Vorgehensweise zu finden. Anschliessend wurden die Stellen mit dem Vaku-Blast-Verfahren sandgestrahlt. Der spezielle Düsenkopf von rund 10 cm Durchmesser enthält neben der Sandstrahldüse auch gleich die entsprechende Saugvorrichtung, um die abgetragene Farbe und den verbrauchten Strahlensand wieder abzusaugen. Die Leistungsfähigkeit dieser Geräte ist allerdings sehr

gering und kann nur bei kleinen Flächen angewendet werden, wie sie am Unterbau vorkommen.

Wo es die geometrischen Verhältnisse der Stahlkonstruktion zulassen, wurden Minieinhausungen aus Holz mit einem Staubsaugeranschluss, einer Lampe und einem luftdicht abgeschlossenen Eingang für die Strahldüse hergestellt. In diesen «Brutkästen» konnte trocken gestrahlt werden (Bild 15). Trotz der aufwendigen Abdichtungsarbeiten erlaubte die Verwendung von herkömmlichen Sandstrahl-düsen eine viel grössere Leistung als das Vaku-Blast-Verfahren.

Auf die Verfüllung von Hohlräumen, Ritzen, Lamellenaufbiegungen usw. zur Verhinderung des Zutritts von Regen- und Kondenswasser wurde grundsätzlich verzichtet. Der Einsatz von verschiedenen Materialien hatte bei früheren Sanierungen gezeigt, dass die Korrosion darunter nicht gestoppt wird, sondern unkontrolliert weitergeht. Eine komplette Entrostung mit anschliessendem Korrosionsschutz sowie eine ausreichende «Belüftung» bieten in jedem Fall den besten Schutz.

Bei Lamellenaufbiegungen wurden die aufgebogenen Stücke bis zum minimal zulässigen Randabstand der Nieten abgetrennt, was die Entrostung wesentlich erleichterte. In der Regel traten solche Aufbiegungen bei zu grossen Nietabständen auf, so dass in die Zwischenräume zusätzliche HV-Schrauben eingesetzt wurden.

Insgesamt verdoppelte sich der Aufwand für die Sanierung des Unterbaus gegenüber den Vorgaben des Leistungsverzeichnisses.

Oberbau

Wegen der zunehmenden Durchlässigkeit des bestehenden Abdichtungssystems auf der Fahrbahnplatte mussten am Oberbau rund 50% der Gesamtfläche, d.h. ungefähr 4500 m², mit einem kompletten, neuen Korrosionsschutz versehen werden. Diese Menge führte zum Verzicht auf den Einsatz von Bleimennige und zu einer Grundierung mit Aluminiumtriphosphat. Zur Gewährleistung der geforderten Lebensdauer des Korrosionsschutzsystems wurde ein zusätzlicher, fünfter Anstrich aufgebracht.

Harte Sanierung:

- Oberflächenvorbereitung: Sandstrahlen Sa 2½
- Grundierung: 2 × 50 µm mittlere Trockenschichtdicke Aluminiumtriphosphat rotbraun; Applikation mit Pinsel und Roller
- Zwischengrundierung: 50 µm mittlere Trockenschichtdicke Eisenglimmer

Silber; Applikation gespritzt mit Hochleistungs-Airless

- Deckanstriche: Wie harte Sanierung Unterbau

Gesamtrockenschichtdicke neue Anstriche: Mittelwert 290 µm, Mindestwert 145 µm

Einhausung

Während die Stahlbauer das Schutzdach (Bild 16) nur als Witterungsschutz benötigten, musste es für die Sandstrahlarbeiten, zur Entfernung des Rosts und der verwitterten, schwermetallhaltigen Anstriche in eine luftdichte Einhausung umgebaut werden. Etliche Mühe bereiteten dabei die unzähligen Durchdringungen des Gerüstbodens. Vor allem im Bereich der Bogenscheitel, wo sich Gerüstboden und die stirnseitigen, quer zur Brückenachse verlaufenden Wände der Einhausung mit der Bogenkonstruktion inklusive Windverbänden kreuzten, konnte die geforderte, hundertprozentige Dichtigkeit der Einhausung mit verhältnismässigem Aufwand nicht erreicht werden. Beim Scheitel des grossen Bogens, wo der Bogen träger selbst als Fachwerk ausgebildet ist, glich die Einhausung einem Puzzle aus Plastikstücken, zusammengeklebt mit unzähligen Rollen Klebeband.

Eine weitere kritische Stelle bildete der Anschluss des parallel zur Brückenplatte, mit einem Längsgefälle von 2,7% verlaufenden Gerüstbodens an die rauen Pfeilerwände. Die Abdichtungsarbeiten wurden nach jedem Vorschub der Einhausung



14

Aufweitung infolge Tiefenrost bei zusammenge-nieteten Lamellen

intensiviert, ebenso die Reinigungsarbeiten. Dazu kamen weitere, technische Massnahmen, um die Umweltbelastung so gering wie möglich zu halten. So sollte eine kanalisierte Abluftführung mit Filteranlage und Staubabscheidegerät mit Hilfe leichten Unterdrucks das unkontrollierte Entweichen von Staub durch die vielen Ritzen und Löcher in der Einhausung verhindern. Kontraproduktiv wirkte sich allerdings die Erzeugung des Luftzugs innerhalb der Einhausung aus, der bei zunehmender Leistung dieser Anlage entsteht.

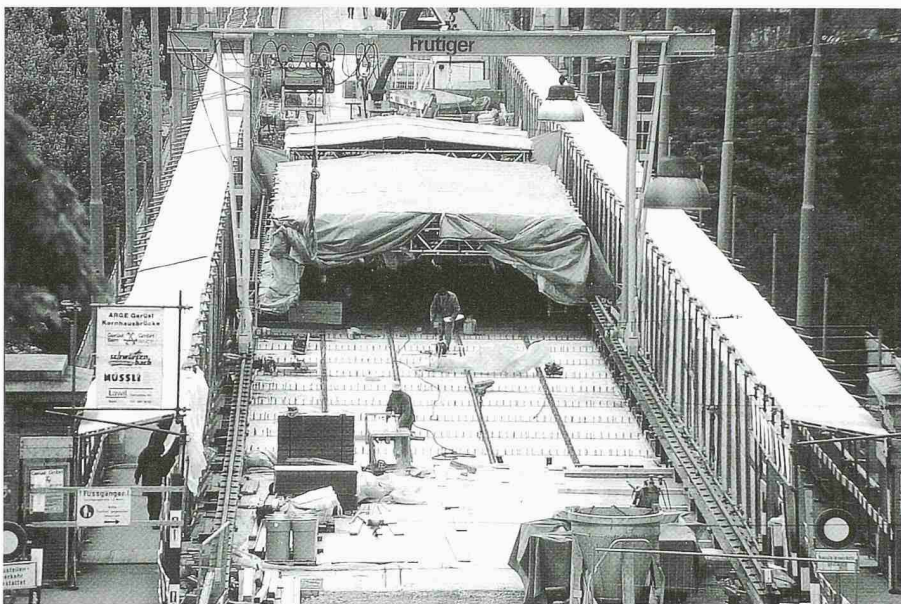
Sedimentstaubmessungen

Das AfUL überprüfte die Auswirkungen der Bauarbeiten, insbesondere der Korrosionsschutzarbeiten, auf die Umge-



15

Sandstrahlen in Miniholzeinhausung



16

Grundierung der Stahlkonstruktion unter dem Notdach: Die Schalequipe ist der Korrosionsschutzmannschaft dicht auf den Fersen

bung. Durch mehrere, unter und neben der Brücke aufgestellte Bergerhofftöpfe, wurde der Staubbiederschlag in genormten Gefässen jeweils während eines Monats erfasst. Die so gemessenen Niederschläge von Sedimentstaub, Blei und Eisen konnten mit den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalteverordnung verglichen werden. Dass ausgerechnet die direkt unter den oben beschriebenen Problemstellen angeordneten Bergerhofftöpfe des AfUL eine Überschreitung des Grenzwerts für die Bleibelastung zeigten, war nicht sehr erstaunlich, wurde doch mehrmals durch undichte Stellen des Gerüstbodens heruntergefallener Strahlsand in vereinzelt Gefässen gefunden. Immerhin zeigten die übrigen Messtöpfe, teilweise auch unter der Brücke, aber nicht unmittelbar unter einer Problemzone auf-

gestellt, tolerierbare Werte. Leider konnten die Messungen nur einen mittleren, monatlichen Wert des Schwermetalleintrags angeben, der keine Rückschlüsse auf die Wirksamkeit von einzelnen getroffenen Massnahmen zulässt. Die ganze Problematik und Diskussion über die Umweltbelastung wirbelte nicht nur in der Einhausung einigen Staub auf.

Sandstrahlarbeiten

Ein Grossteil der Stahlkonstruktion war als Folge des Abbruchs der alten Fahrbahnplatte mit Frässhchlamm und Betonresten verschmutzt. Die Stahlkonstruktion musste deswegen zuerst gewaschen werden, um die Roststellen überhaupt sichtbar zu machen. Durch sogenanntes Feuchtstrahlen, unter Beigabe eines leichten Wassernebels, wurde versucht, die

Staubentwicklung so gering wie möglich zu halten.

Nach Abschluss der Sandstrahlarbeiten innerhalb einer Etappe musste das Strahlgut auf dem Gerüstboden zusammengekehrt und für die Entsorgung in die entsprechenden Säcke abgefüllt werden. Jeweils ein gutes Dutzend Arbeiter schaufelte, wischte, saugte und kratzte die pappe Mischung aus Frässhchlamm, Betonresten und Strahlsand zusammen. Je mehr der Gerüstboden trocknete, um so mehr Strahlsand kam aus den diversen Ritzen hervor und machte eine oder mehrere Nachreinigungen notwendig. Während der ganzen Bauzeit am Überbau war immer irgendwo mindestens eine Equipe kniend damit beschäftigt, mit Staubsauger, Besen und Schaufel Strahlsandrückstände zu beseitigen, so dass der Gerüstboden insgesamt sicher dreimal abgesaugt wurde. Dazu kam noch die Schlussreinigung bei der Gerüstdemontage.

Anstriche

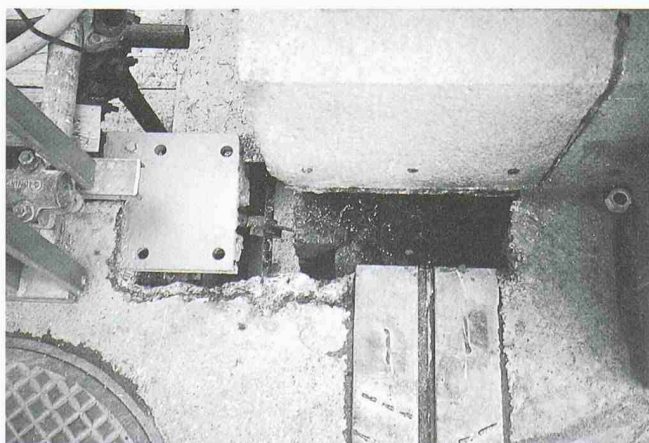
Nach dem Sandstrahlen wurden die Stahlkonstruktion gereinigt und mit Druckluft abgeblasen sowie der erste Grundanstrich aufgebracht, um die Entstehung von Flugrost zu vermeiden. Auch der zweite Grundanstrich auf den hart zu sanierenden Flächen wurde mit Pinsel und Roller appliziert. Die Zwischengrundierung wurde aus Zeitgründen erst entlang der Kanten der Obergurte aufgebracht.

Nach Abschluss der Sandstrahl- und Grundierungsarbeiten der letzten Etappe, begab sich die Korrosionsschutzequipe wieder an den Brückenanfang auf der Nordseite. Dort begann sie, vor der Witterung durch die neue Fahrbahnplatte geschützt und ohne den enormen Zeitdruck, mit dem Aufbringen des Zwischenanstrichs und der beiden Deckanstriche.

Pfeiler, Widerlager

Der oberste Teil der Pfeilerköpfe wurde so umgebaut, dass einfachere und bessere Verhältnisse für die verschiedenen Teile der Brückenausrüstung wie Lager, Fahrbahnübergänge und Entwässerungsanlagen sowie deren Unterhalt entstanden. Die Postamente und Pylone wurden dabei nicht angetastet.

Um die Zwängungen im Bereich der Pfeilerköpfe und Gehwege zu eliminieren, wurden die Lager der Gehwegrandträger ausgebaut und durch auskragende Stahlträger ersetzt, die in der neuen Fahrbahnplatte verankert sind. Da die Gehwegrandträger beinahe millimetergenau und über 30 cm tief in den Lagernischen lagen, mussten sie im Bereich der Bewegungsfug-



17

Abgetrennter Gehwegrandträger: Dazu musste auch der Geländerpfosten entfernt werden. Unten ist noch der alte Stahlfugenübergang zu sehen

Hauptleistungen der Gesamterneuerung

Abbruch Fahrbahnplatte inkl. Belag:	m ³	870
Frässschnitte für Abbruch:	m	6000
Neue Betonfahrbahnplatte:	m ³	800
Bewehrung Fahrbahnplatte:	t	145
Abdichtung:	m ²	4600
Beläge:	t	1200
Stahlbauarbeiten:		
Kopfbolzendübel:	St	37 000
Stahlverstärkungen:	t	17
Profile ersetzen:	St	170
Lamellen aufdoppeln:	St	180
Nieten ersetzen mit HV-Schrauben:	St	4800
Neue HV-Schrauben:	St	2500
Korrosionsschutz:		
Farbverbrauch:	kg	15 000
Anstriche: total	m ²	60 000
Applikation: Mit Pinsel/Roller	m ²	14 000
Applikation: Mit Airless gespritzt	m ²	46 000
Pfeiler-/Widerlageranierung:		
Reinigung mit Hochdruck:	m ²	9500
Erneuerung von Mörtelfugen:	m	3500

gen in 3 bis 4 cm breite Scheiben geschnitten und Stück für Stück herausgenommen werden (Bild 17). Die Lagernischen wurden anschliessend ausbetoniert.

Im Weiteren bekamen die neuen Bewegungsfugen durch den lokalen Umbau der Fugenbereiche den nötigen Spielraum, so dass Bewegungen zwischen den Pfeilern und den Gehwegplatten ungehindert möglich sind.

Infolge der beschriebenen Zwängungen hatten sich verschiedene Auflagersteine sowie weitere Steine der Pfeilerverkleidung gelöst und verschoben, so dass unter dem Einfluss der Witterung an diesen exponierten Stellen die Mörtelfugen verbröckelt waren. Die insgesamt 3,5 Kilometer langen schadhafte Fugen wurden neu ausgemörtelt. Bei den Widerlagern wurde die Rückwand der Auflagerbank durch eine zurückversetzte Neukonstruktion ersetzt, damit die Endquerträger der Stahlkonstruktion allseitig zugänglich sind (Korrosionsschutz).

Alle Pfeiler wurden mit einem Hochdruckreiniger - hartnäckig verschmutzte Bereiche unter Zugabe von Quarzsand - gereinigt. Das anfallende Wasser und der Quarzsand wurden in Auffangrinnen an den Pfeilerfüssen gefasst und in ein Absetzbecken geleitet. Erst wenn die durch das AfUL ausgeführten Schadstoffmessungen die Einhaltung der Grenzwerte garantiert hatten, durfte das Wasser in die Kanalisation geleitet werden. Die zurückbleibende Schlämme wurde in eine entsprechende Aufbereitungsanlage gebracht.

Weitere Sanierungsarbeiten

Im Zuge der Gesamterneuerung wurden noch eine ganze Reihe von weiteren Sanierungsarbeiten und Verbesserungen ausgeführt:

- Ersatz der Leitschranken: Kastenprofil 150/80 auf Sigmapfosten
- Anpassen von elektrischen Versorgungsleitungen
- Anstrich von Werkleitungen, Fahrleitungsastmasten und Beleuchtungskandelabern
- Ersatz des Swisscom-Leitungskanals
- Neue Schutznetze gegen Tauben
- Ergänzung der Inspektionsstege

Bauprogramm

Bei der Erstellung des Bauprogramms standen vor allem zwei wichtige Kriterien im Vordergrund, die den zeitlichen Rahmen der Ausführung bereits sehr eng eingrenzten: Wie üblich bei Bauarbeiten, die den öffentlichen Verkehr tangieren, sollte die Dauer der Verkehrsbehinderung so kurz, die Zusatzkosten für die Umleit- und Ersatzbetriebe des öffentlichen Verkehrs so niedrig wie möglich sein.

Zweitens konnten die Applikation des neuen Korrosionsschutzsystems, das Einbringen der Fugenübergänge mit Polymerbitumen und das Ausgiessen der Schienenkanäle mit elastischem Kunststoffmaterial nur bei trockener und relativ warmer (mindestens +5 °C) Witterung ausgeführt werden.

Aufgrund des ersten Kriteriums basierte das Bauprogramm auf einer konzentrierten Bauweise mit einer Totalsperre für den gesamten Verkehr. Nur für die Fussgänger musste immer mindestens ein Gehweg offen bleiben. Die Totalsperre musste gemäss dem zweiten Kriterium im Zeitraum März bis Oktober liegen. In dieser Zeit wurden alle Kräfte für die Erneuerung der Fahrbahnplatte konzentriert. Alle übrigen Arbeiten, die den Verkehr nicht behindern, wurden vorab oder anschliessend ausgeführt.

Für die Dauer der Abbrucharbeiten (maximal die ersten 20 Wochen der Totalsperre) wurden spezielle Arbeitszeiten bewilligt, ansonsten galten die üblichen Arbeits- bzw. Sperrzeiten für lärmige Arbeiten.

Vorbereitungsarbeiten

Um optimale Voraussetzungen für den Start der Hauptarbeiten während der Totalsperre zu schaffen, wurden ab Jahresbeginn 1997 Vorbereitungsarbeiten in Angriff genommen. Dazu gehörten die Baustelleninstallationen, Schutzdächer über sämtlichen Verkehrswegen unter der Brücke, Schutzgalerien für die Gehwege auf der Brücke, die seitlichen Gerüstgänge entlang der Brücke und, soweit wie möglich, der Einbau des Fahrbahngerüsts, um einen möglichst grossen Vorlauf auf die folgenden Arbeiten zu gewinnen.

Totalsperre

Während der Totalsperre vom 3. März bis 31. Oktober 1997 wurden vorerst die alte Fahrbahnplatte abgebrochen, der Korrosionsschutz am Überbau erneuert, die Stahlverstärkungen eingebaut und die neue Fahrbahnplatte in einem Zweiwochentakt feldweise von Norden nach Süden betoniert. Die Abschnittslängen entsprachen der Länge eines kleinen Bogens bzw. der eines Drittels des grossen Bogens. Zusammen mit den beiden Endfeldern ergab dies zehn Etappen. Die Abdichtungs-, Belags- und Gleisbauarbeiten wurden anschliessend in fünf Etappen ausgeführt.

Die weiteren, noch ausgeführten Hauptarbeiten betreffen die Erneuerung des Korrosionsschutzes des Unterbaus, die Sanierung der Gehwege und die Sanierung der Brückenpfeiler. Alle Arbeiten wurden bis im Herbst 1998 abgeschlossen.

Adresse der Verfasser:

Hans R. Hager, dipl. Bauing. ETH, Günter Schneider, dipl. Bauing. ETH, Hager + Bettchen, Eigerplatz 5, 3000 Bern 14