

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 112 (1994)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Brandunfall an Brücke: Lehren aus Unfall Lehnenviadukt Beckenried (N2)  
**Autor:** Bänziger, Dialma Jakob  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78382>

### **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:** 14.05.2025

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



## ASIC-Artikelreihe: Renovation von Bauwerken

# Brandunfall an Brücke

Lehren aus Unfall Lehnenviadukt Beckenried (N2)

**Die vollständige Auswertung des Brandunfalles auf dem Lehnenviadukt Beckenried der N2 am 3. Oktober 1989 hat aufschlussreiche Erkenntnisse ergeben. Die nachfolgenden Ausführungen behandeln die ingenieurmässige Beurteilung der Schäden und die daraus entwickelten und durchgeführten Sanierungsmassnahmen.**

## Allgemeines zum Lehnenviadukt

Der Lehnenviadukt Beckenried der N2 ist mit rund 3150 m Länge und schwierigen Fundationsverhältnissen in einem

VON DIALMA JAKOB  
BÄNZIGER, ZÜRICH

kriechenden Hang eines der bedeutendsten Brückenbauwerke des schweizerischen Nationalstrassen-Netzes. Er wurde von 1976 bis 1980 erstellt und ist als Zwillingsbrücke konzipiert, wobei fünf Überfahrtsmöglichkeiten von der einen zur anderen Brücke bestehen. Der tiefste Punkt im Längenprofil befindet sich beim Pfeiler 54, d.h. 2901 m vom Brückenanfang auf Seite Luzern, bzw. 247 m vom Brückenende Seite Uri entfernt.

Jede der Zwillingsbrücken wird über je eine Fall-Leitung durch den hohl ausgebildeten Pfeiler 54 entwässert. Das gesamte Leitungssystem besteht aus Hart-Polyäthylen-Rohren (HDPE).

Die Einläufe auf der Brückenoberfläche sind mittels Rohren von Aussen-Durchmesser 125 mm und 3.9 mm Wandstärke an die Hauptleitungen angeschlossen. Die Hauptleitung Seite Luzern hat vor dem Fallrohr einen Aus-

sen-Durchmesser von 630 mm und 19.6 mm Wandstärke, jene auf Seite Uri einen Aussen-Durchmesser von 315 mm und 9.8 mm Wandstärke.

Beide Seiten entleeren das Wasser über Krümmer in einen Trichter im Pfeilerkopf, der ebenfalls aus HDPE besteht. Von dort führt eine Fall-Leitung HDPE von Aussen-Durchmesser 630 mm und 19.6 mm Wandstärke in ein unter der Erdoberfläche angeordnetes Tosbecken, wo die Energie vernichtet wird. Der Pfeiler 54 auf der Talseite ist 21.50 m hoch. Er trägt oben 2 Gummitopflager, auf denen der Brückenträger ruht. Wegen der Längsverkippung des Trägers infolge Nutzlasten und der unterschiedlichen Temperaturdehnung zwischen Brückenträger und Entwässerungshauptleitungen sind die Krümmernenden im Trichter des Pfeilerkopfes frei beweglich (Bild 1).

## Angaben zum Unfallhergang

Am frühen Morgen des 3. Oktober 1989, kurz nach 05.00 Uhr, fuhr ein mit 144 Kühlschränken beladener holländischer Lastenzug von Uri herkommend durch den Seelisbergtunnel. Der Chauffeur stellte beim Verlassen des Seelisbergtunnels hinter der Kabine

Feuer fest. Er bremste daraufhin das Fahrzeug ab und kam 20 m nach dem Pfeiler Nr. 54 (in Fahrtrichtung Luzern) zum Stehen. Ein Abkuppeln des Anhängers war nicht mehr möglich, da das Zugfahrzeug wenige Minuten später schon im Vollbrand stand (Bild 2).

Um 05.30 Uhr meldete ein Automobilist den Brand über NATEL. Als die Stützpunktfeuerwehr mit Atemschutzgeräten eintraf, stand der ganze Lastenzug im Vollbrand. Als nach ca. 1.1/4 h Dauer der Brand auf der Brückenoberfläche gelöscht war, stellte die Feuerwehr um 06.45 Uhr einen zweiten Brand unter der Brücke im Pfeiler 54 fest. Dieser dauerte insgesamt ca. 1.1/2 h lang bis 07.15 Uhr.

Unglücklicherweise befand sich direkt unter dem Lastenzug ein Einlaufschacht der Brückenentwässerung, in welchen aus dem direkt darüberliegenden Dieselöltank brennendes Dieselöl in das Brückenentwässerungssystem hineinfluss. Neben dem primären Schaden an der Brückenabdichtung, dem Brückenbelag und der Brüstung entstand auf diese Weise ein zweiter Schadenherd im Brückenkasten und im Pfeiler 54, der das Ablaufrohr der gesamten Brückenentwässerung enthält. Dieser sekundäre Schaden hat sich als Hauptschaden erwiesen (Bild 3).

Das brennende Dieselöl entzündete im Brückenkasten und im Pfeiler 54 die Hauptleitung des Entwässerungssystems, welche aus Hartpolyäthylen besteht (HDPE). Der Brand wurde durch die Luftzufuhr im offenen Trichter des Pfeilerkopfes ständig mit Sauerstoff versorgt. Die Hauptleitung im Pfeiler, die Krümmer sowie die beidseitigen Hauptzuleitungen auf je 7.50 m Länge sind vollständig verbrannt (Bild 5).

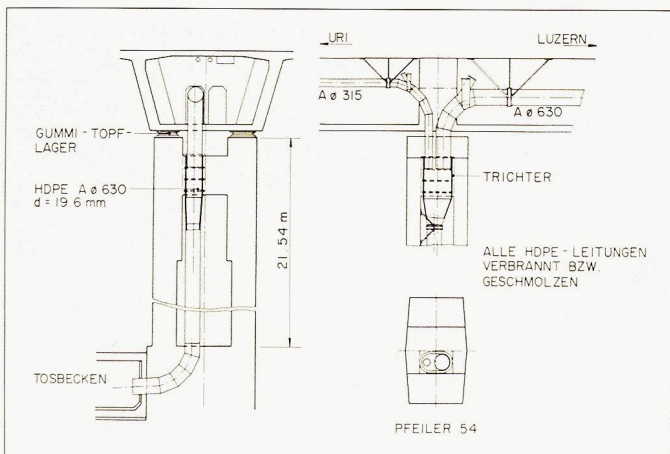


Bild 1. Entwässerung beim Pfeiler 54



Bild 2. Verbrannter Lastenzug (Fotos 2 bis 5: Polizei NW, übrige Fotos D.J. Bänziger)



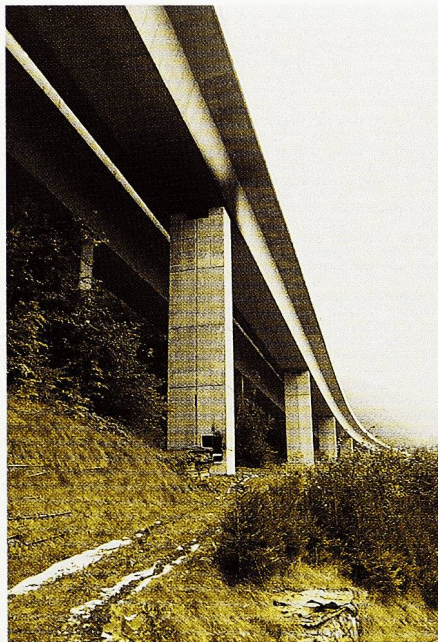


Bild 3. Talseitige Brücke 5, Pfeiler 54

Die heissen Brandgase entzündeten auch die PVC-Hüllrohre der Fernsehüberwachungsleitung Seelisbergtunnel, eines Telefonkabels und eines Stromversorgungskabels. Sämtliche genannten Kabelverbindungen wurden auf einer Länge von beidseitig je 55 m zerstört. Die Hitzeentwicklung durch dieses Feuer war über dem Pfeilerkopf, insbesondere im Brückenkasten, so gross, dass von der 20 cm starken Fahrbahnplatte bis 8 cm Tiefe Beton abgesprengt und die unteren zwei Lagen Armierung freigelegt wurden (Bild 8). Im weiteren wurden die beiden Brückenlager auf dem Pfeilerkopf 54, auf welchen der Brückenüberbau aufliegt, in Mitleidenschaft gezogen. Es darf angenommen werden, dass ausser brennendem Dieselöl, Löschschaum und Löschwasser keine anderen Flüssigkeiten in den Brückenkasten und in den Brückenpfeiler geflossen sind. Das ausgelaufene Dieselöl ist praktisch vollumfänglich

verbrannt und gelangte nicht mehr in das grosse Rückhaltebecken der Brückenentwässerung. Eine Gewässerverschmutzung hat nicht stattgefunden.

Das in den Kühltanks vorhandene Freon hat sich in Dampfform entzündet und ist verbrannt. Das dabei entstandene giftige Gas hat sich verflüchtigt, ohne weitere Folgen zu zeigen.

### Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit des Tragwerkes

Nach jedem Unfall an einer Baukonstruktion richtet sich das Hauptaugenmerk darauf, wie weit die Sicherheit und die Gebrauchsfähigkeit des Tragwerkes gelitten haben und ob und wie diese zwei wichtigsten Komponenten der Qualität wiederhergestellt werden können.

Beim Brandunfall am Lehnenviadukt Beckenried wurden der seeseitige Brückenträger, die zwei Brückenlager auf dem Pfeilerkopf, der Pfeiler und die Hauptentwässerung des gesamten seeseitigen Brückenträgers betroffen.

Dank des Projektkonzepts als Zwilingsbrücke blieb das bergseitige Tragwerk völlig intakt und konnte den gesamten Verkehr übernehmen.

Der rund 3150 m lange Lehnenviadukt besteht in Längsrichtung aus fünf voneinander unabhängigen Brücken. Nach dem ersten Augenschein am Unfallmorgen war es klar, dass die seeseitige Brücke Nr. 5 aus Sicherheitsgründen sofort gesperrt werden musste (Bild 6).

Das Hauptinteresse konzentrierte sich vorerst auf den Zustand der Längsträger, der Fahrbahnplatte, der Lager und des Pfeilers.

Der Kantonsingenieur von Nidwalden, Reto Zobrist, beauftragte schon früh am Unfallmorgen den Verfasser mit der ingenieurmässigen Beurteilung der Schäden und mit der Ausarbeitung des

Sanierungsprojektes sowie dessen Bauleitung (Bild 7).

### Schadenuntersuchungen

Mit den materialtechnischen Untersuchungen der Schäden wurden Spezialisten der EMPA beauftragt. Sie umfassten Betonprüfungen bezüglich Druckfestigkeit und Chloridgehalt, ferner Zug-Prüfungen an Armierungsstäben sowie die Überprüfung der noch vorhandenen Vorspannung an Ort in Längs- und Querspanngliedern und ergänzende Zugversuche mit Feindehnungsmessungen an Spanndrähten.

### Druckfestigkeit des Betons

Die Druckfestigkeit wurde an insgesamt 61 Betonbohrkernen bestimmt. Die ermittelten Werte für die Druckfestigkeit sind sehr gross und liegen mit wenigen Ausnahmen zwischen 60 und 80 N/mm<sup>2</sup> bei einem geforderten 28-Tage-Wert von 42.5 N/mm<sup>2</sup> während des Baus des Viaduktes.

### Bestimmung des Chloridgehaltes

Der Chloridgehalt eines Betons wird zur Beurteilung auf seinen Zementgehalt bezogen. Üblicherweise wird angenommen, dass er bei Stahl- und Spannbetonkonstruktionen (ohne Spannbettverfahren) bis 0.4% betragen darf, ohne dass eine Gefährdung der Dauerhaftigkeit befürchtet werden muss.

Die im Brückenkasten entnommenen Proben ergaben praktisch alle sehr kleine Chloridgehalte. Eine einzige Probe überstieg mit 0.61% den vorgenannten Grenzwert.

Unmittelbar nach dem Brand wurden die betroffenen Oberflächen-Bereiche (im Hohlkasten beide angrenzende Felder von je 55 m Länge) mittels Hochdruckwasserstrahl gereinigt, um

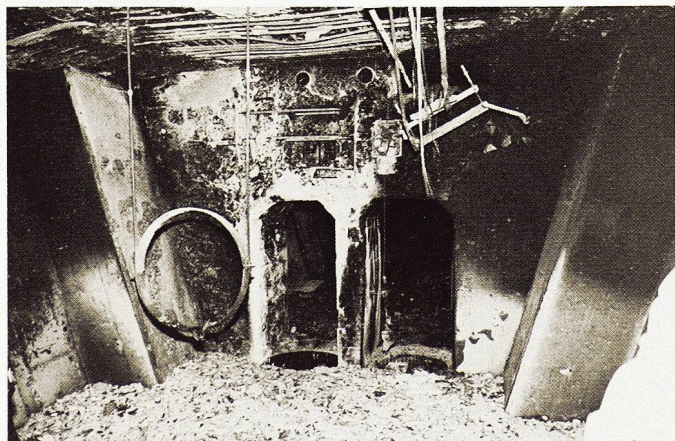


Bild 4. Brandbereich beim Q.Tr. Axe 54



Bild 5. Brückenentwässerung Hauptleitung verbrannt und geschmolzen



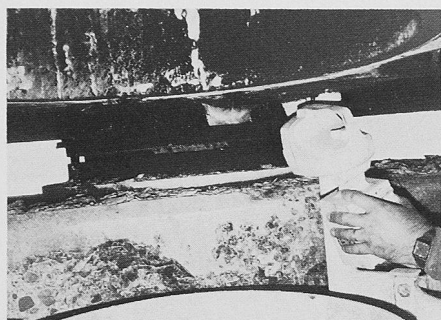


Bild 6. Gummitopf-Lager seeseitig Pfeiler 54

das Eindringen von Chlorwasserstoff (HCl) und andern schädlichen Stoffen in den Beton zu stoppen.

Die Bohrmehlproben aus dem Pfeilerkopf wiesen jedoch beträchtliche Mengen an Chloriden auf, die in der Grössenordnung von 1–2% liegen. Dieser hohe Chloridgehalt hat vermutlich mit dem vorliegenden Brand nichts zu tun, sondern stammt mit grösster Wahrscheinlichkeit vom Salzwasser her, das aus dem Ablauftrichter spritzte.

### Prüfungen des Betonstahles

Es wurden drei Bewehrungsstähle aus der Plattenuntersicht im Brückenkasten entnommen. Die Probe 1 stammte aus dem Brandherd selber und lag infolge der abgeplatzten Betonüberdeckung frei. Die Proben 2 und 3 stammten aus Betonpartien ausserhalb des Brandherdes (Bild 8).

Wie die ermittelten Kennwerte dieser 3 Proben zeigen, wurde der Betonstahl im Brandherd von der Hitzeeinwirkung deutlich beeinflusst. Die Abnahme der Streckgrenze beträgt bei Probe 1 rund 35%. Es handelt sich um einen kaltverformten Stahl der Marke TORSTAHL 50. Die Prüfwerte der Proben 2 und 3 erfüllten hingegen die verlangten Normwerte (Bilder 9 und 10).

### Überprüfung der noch vorhandenen Vorspannung an Ort

#### Quervorspannung in der Fahrbahnplatte

Diese war wegen des seinerzeitigen Bauvorganges mittels Vorschubgerüst und Tunnelschalung für den Hohlkasten nur im Pfeilerbereich notwendig gewesen und wurde deshalb vom Brandfall betroffen.

Das zur Hälfte durch die Betonabplatzungen schon freigelegte Hüllrohr der 0.6"-Litze Durchmesser 15.2 mm wurde ganz freigespitzt und aufgeschnitten.

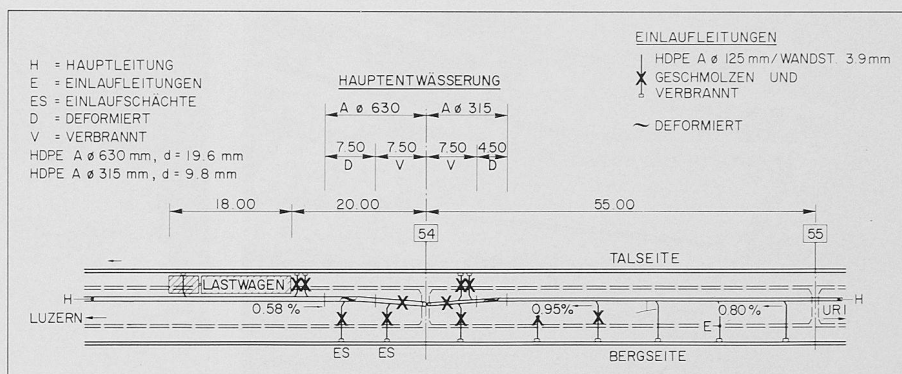


Bild 7. Brandschäden am Entwässerungssystem

Der Injektionsmörtel war farblich verändert und sah aus wie Lägerkalk. Er wies eine brüchige Struktur auf. Die Spiraldrähte wurden weggeschnitten, so dass für die Prüfung der 5.25 mm dicke gerade Zentrumsdraht freilag.

Es wurden nun auf einer Messlänge von 80 cm 3 Strain Gages auf dem Zentrumsdraht aufgeklebt. Nach der Nullablesung im gespannten Zustand wurde der Draht mit einer Trennscheibe durchgeschnitten. Nach dieser Entspannung wurde eine zweite Ablesung der Dehnungen vorgenommen (Bild 11). Daraus ergab sich die Dehnungsdifferenz, aus der mit Hilfe des Hooke'schen Gesetzes auf die vorhandene Vorspannung geschlossen werden konnte. Diese Zahl wurde dann mit dem Wert aus der Statik des Projektverfassers verglichen.

Messwert Zentrumsdraht

$\epsilon = 5.130 \text{ o/oo}$

$\sigma = 1077 \text{ N/mm}^2$

Rechenwert Projektverfasser

$\sigma = 1074 \text{ N/mm}^2$

Damit war der Nachweis erbracht, dass die vorhandene Quervorspannung mit der ursprünglich eingetragenen gut übereinstimmte.

#### Längsvorspannung im Hauptträger

Ein 500 to Längskabel mit 114 Drähten Durchmesser 7 mm wurde auf einer Strecke von 90 cm freigelegt. Es war 5 cm überdeckt geblieben. Der Injektionsmörtel war blaugrau und sehr hart. Ein einziger Längsdraht war auf der ganzen Länge von 90 cm sichtbar und frei. Wiederum wurden an diesem Draht drei Strain Gages aufgeklebt, die Nullablesung gemacht, durchgetrennt und die Dehnung erneut gemessen (Bild 12).

Das Resultat war:

Messwert Längsdraht Durchmesser 7 mm

$\epsilon = 4.241 \text{ o/oo}$

$\sigma = 891 \text{ N/mm}^2$



Bild 8. Unterseite Fahrbahnplatte Brandbereich

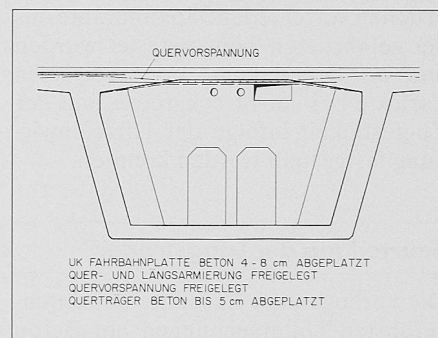


Bild 9. Ist-Zustand nach Brand im Querschnitt

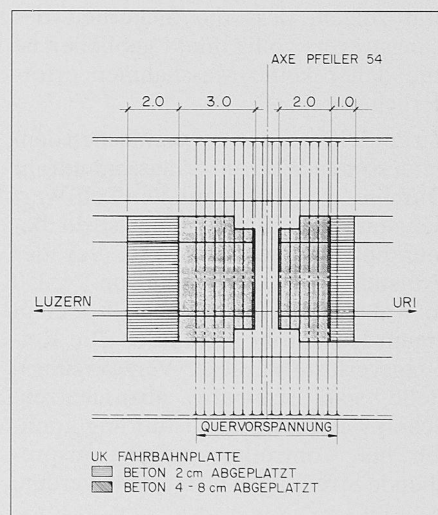


Bild 10. Ist-Zustand nach Brand UK Fahrbahnplatte





Bild 11. Prüfung Quervorspannung an Ort

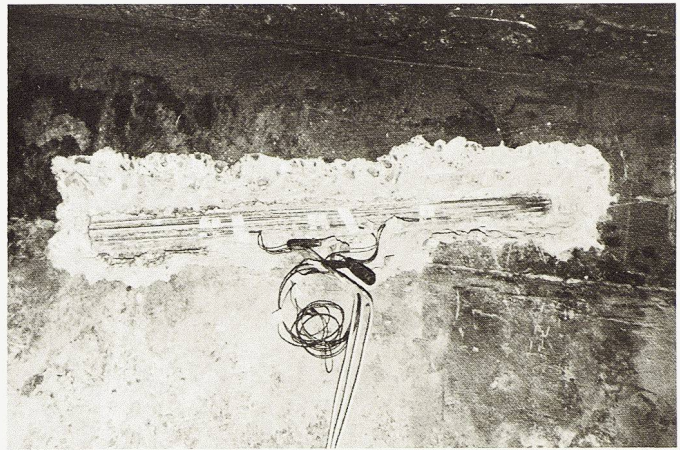


Bild 12. Prüfung Längsvorspannung an Ort

Rechenwert Projektverfasser

$$\sigma = 940 \text{ N/mm}^2$$

Der Vergleich ergibt einen scheinbaren Spannungsverlust von 5%. Diese Differenz dürfte jedoch nicht reell sein, sondern mit der Ungenauigkeit des Rechenwertes infolge Schwankungen des Reibungsverlustes im Hosenrohrbereich des Spannkabels zusammenhängen.

Dafür sprechen auch die Ergebnisse der nachträglichen Zugversuche im Labor, in denen verschiedene Spanndrähte aus der gefährdeten Zone getestet wurden und bei denen keine nennenswerten Verluste bei der Streckgrenze und der Zugfestigkeit infolge der Hitzeeinwirkung festgestellt werden konnten.

### Beurteilung der Längsträger

Die vorliegenden Resultate der durchgeführten Untersuchungen am Beton bezüglich Festigkeit und chemischer Verseuchung an den Längsspanngliedern, an den Querspanngliedern und am Armierungsstahl bezüglich noch vorhandener Spannkraft und Stahlqualität zeigen, dass die Sicherheit des Längsträgers völlig intakt geblieben ist und daher keine Massnahmen erforderlich waren.

Zu der Differenz von 5% zwischen dem gemessenen Wert am Längsspanndraht Durchmesser 7 mm und dem Soll-Wert der statischen Berechnung ist zu bemerken, dass wenige Meter vor der Prüfzelle die Verzweigung von 2 x 250 to Kabeln zu einem 500 to Kabel in einem Hosenrohr stattfindet. Die Reibungsverluste in dieser Verzweigungsstelle sind schwierig abzuschätzen. Schon während der Ausführung konnten bei Kontrollmessungen entsprechende Streuungen festgestellt werden. Deshalb ist der scheinbare Spannungsverlust von 5% ohne Bedeutung. Ausserdem war die Überdeckung der Längs-

spannglieder im Brandbereich planmässig, der Beton völlig intakt und der Injektionsmörtel sehr hart.

### Beurteilung und Sanierung der Fahrbahnplatte

Im lokalen Bereich von 5 bzw. 3 m beidseitig des Querträgers über dem Pfeiler 54 platzte der Beton infolge des Hitzestaus ab. Die Abplatzungen betrugen in den am stärksten betroffenen Partien 8 cm, so dass dort von der 20 cm starken Fahrbahnplatte nur noch 12 cm übrig blieben. Die schlaffe untere Armierung lag frei und hing leicht durch. Ihre Qualität wurde durch die Hitze reduziert. Die Litzenkabel der Quervorspannung wurden in diesem Bereich zur Hälfte freigelegt. Die Prüfung der vorhandenen Spannung im Durchmesser 5.25 mm starken Zentrumsdraht der Vorspannlitze zeigte, dass sie mit dem Soll-Wert gut übereinstimmte.

Der Injektionsmörtel hat durch die hohe Temperatur gelitten und ist brüchig geworden, so dass der Verbund zwischen Spanndraht und Beton nicht mehr voll vorhanden ist. Die drei durch den Hitzestau freigelegten Litzen wurden deshalb als nicht mehr voll wirksam angenommen.

In den geschwächten Bereichen der Fahrbahnplatte würde ein schweres Fahrzeug einbrechen (Bild 13).

Die Sanierung erfolgte durch Aufkleben von zwei Flachstahlbahnen auf der eingekerbten Oberfläche der Fahrbahnplatte, um die Wirkung der drei reduzierten Quervorspannlitzen sowie der infolge der Prüfung durchgetrennten Litze zu ersetzen. Die Unterseite der Fahrbahnplatte wurde mittels eines hochwertigen Spritzbetons und Einbringen von Armierungen wiederhergestellt. Die Gesamtstärke der Fahrbahnplatte wurde im Sanierungsbereich von 20 cm auf 25 cm erhöht (Bild 14).

### Beurteilung und Sanierung des Querträgers Axe 54

Er wies bei einer ursprünglichen Dicke von 1.00 m beidseitig Abplatzungen von maximal 5 cm auf. Die Sanierung erfolgte ebenfalls mittels Spritzbeton und Armierungsnetzen.

### Beurteilung und Sanierung der Brückenlager

Es handelt sich um sogenannte Gummipflager der Firma Mageba AG von je rund 850 to Tragkraft. Ihr Zustand konnte nur durch Öffnen und Überprüfen im Werk beurteilt werden. Deshalb wurde die Brücke bei Pfeiler 54 am 20. Oktober 1989 um 15 mm angehoben, die Lager ausgebaut und die Brücke auf provisorische Lager abgestellt. Eine solche Operation erfordert eine grosse Vorbereitung und viel Umsicht. Die zu hebende Eigengewichtslast betrug immerhin 1100 to oder 11 SBB-Lokomotiven zu 100 to. Insbesondere darf sich während des Hebevorganges der wegen der Temperaturbewegung in gespanntem Zustand befindliche Pfeiler relativ zum Brückenträger weder längs noch quer bewegen, was durch Anordnung von horizontalen Pressen in besonderen Halterungen erreicht wurde.

Die Prüfung der Lager im Werk zeigte, dass die Lagerdichtungsringe zerstört waren und dass Flüssigkeit vom Brandfall in das Innere eingedrungen war. Der Neoprene-Gummi war jedoch noch intakt. Die Reparatur war somit bescheiden, so dass am 27. Oktober die revidierten Lager wieder eingebaut werden konnten.

### Beurteilung und Sanierung des Pfeilers 54

Der Pfeiler 54 ist ein besonderer Pfeiler. Er ist hohl und begehbar ausgebil-



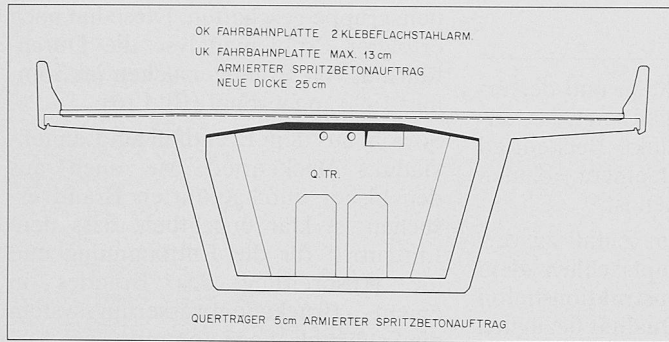


Bild 13. Sanierung Brandabschnitt

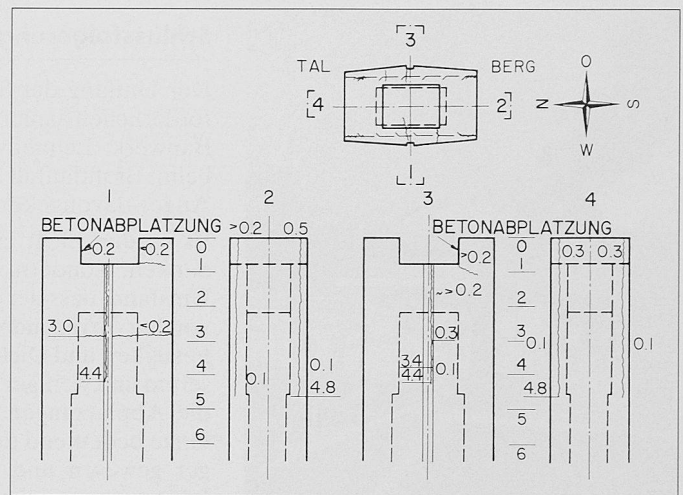


Bild 15. Schadensbild am Pfeilerkopf

det, weil er die gesamte Brückenentwässerung über einen Trichter und ein Fallrohr von Aussen-Durchmesser 630 mm aufnimmt. Weil er während des Brandes wie ein Kamin gewirkt hat, sind Temperaturdifferenzen aufgetreten, die zu Rissen in den obersten 5 m der Betonkonstruktion geführt haben. Diese Risse sind maximal 0,5 mm geöffnet. Sie sind, wie aus der Abbildung Nr. 15 hervorgeht, genau dort aufgetreten, wo während der Bauausführung Arbeitsfugen angeordnet waren.

Diese Arbeitsfugen waren deshalb notwendig, weil der Pfeiler 54 als hohler Entwässerungspfeiler dicker ausgebildet werden musste als alle übrigen.

Die Auflagertraversen der Vorschubrüstung sind für die Normalpfeiler konzipiert worden, so dass der Pfeiler 54 im Bauzustand in den oberen 5 m vorerst schmaler betoniert werden musste. Da diese besonderen Risse im Pfeiler, verglichen mit den normalen Spannungsrissen einer Stahlbetonkonstruktion

von 0,2 mm, zu keinen statischen Bedenken Anlass gaben, erfolgte die Sanierung durch Ausinjizieren der Risse mittels eines Klebeharzes (Bild 15).

### Sanierung von Abdichtung und Belag auf der Fahrbahn-Platte

Diese wurden im hitzebetroffenen Bereich entfernt und neu eingebaut. Beim Entfernen der Abdichtung hat sich gezeigt, dass die voll verklebten, kunststoffmodifizierten Bitumendichtungsbahnen sich beim Anschluss an das Konsolbord gelöst hatten.

Bei der Sanierung wurde der Anschluss von Abdichtung und Belag an den Konsolkopf mittels Resa-Elastomere-Füllung ausgeführt.

### Beurteilung und Sanierung der Brückenentwässerung

Die Brückenentwässerung besteht aus Hart-Polyäthylen-Rohren (HDPE). Dieses Material wird seit über 15 Jahren bei Brückenentwässerungen verwendet, weil es gegen alle vorkommenden chemischen Angriffe resistent und auch gegen mechanische Beschädigungen sehr widerstandsfähig ist. Der Schmelzpunkt des Materials liegt bei ca. 130 °C und der Entflammungspunkt bei ca. 200 °C. Beim Verbrennen entstehen im Gegensatz zu Polyvinylchlorid-Rohren (PVC) keine giftigen Gase.

Das Einlaufrohr Nr. 2 der Brückenentwässerung beim Standort des Lastwagens, wie auch die ersten 20 m des Hauptlängsrohres von Durchmesser 630 mm sind weder geschmolzen noch verbrannt, obwohl dort brennendes Dieselöl durchgelaufen ist (siehe Abbildungen).

Das HDPE-Material wurde offenbar erst im Bereich des Absturztrichters entflammt, wo naturgemäss eine Verwirbelung mit Luftzutritt erfolgt.

Von dort aus entwickelte sich der Brand, griff die Krümmerzone an und verbrannte sowohl die Hauptleitung mit Aussen-Durchmesser 630 mm West wie die Hauptleitung mit Aussen-Durchmesser 315 mm Ost auf je 7,50 m Länge.

Auf der Ost-Seite von Pfeileraxe 54, wo überhaupt nichts von der Fahrbahn her in die Entwässerung eingedrungen war, entflammten die heissen Brandgase das Einlaufrohr Nr. 7, Aussen-Durchmesser 125 mm, Wandstärke 3,9 mm, in einem Abstand von 22 m ab Pfeileraxe, während an derselben Stelle das Hauptrohr von Aussen-Durchmesser 315 mm und 9,8 mm Wandstärke noch völlig intakt ist.

Dies zeigt den grösseren Widerstand der dickeren Rohrwand gegen den Angriff der heissen Brandgase.

Die Sanierung erfolgte durch Ersatz mit einem nichtbrennbaren Material: Fallrohre im Hohlpfeiler aus polyurethanbeschichtetem Gusseisen, Krümmer mit Belüftungsrohren aus Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl V4A 4311, d.h. aus einem säurebeständigen rostfreien Stahl. Die verbrannten bzw. geschmolzenen Leitungen im Brückenkasten wurden mit dem bisherigen Material HDPE ersetzt. Beim Absturztrichter ist eine Abdeckung des Spaltes ausgeführt worden, die den Luftzutritt erschwert.

### Schutzrohre Werkleitungen

Die Schutzrohre der Werkleitungen aus bisher PVC-Material (Polyvinylchlorid), das bei der Verbrennung hochgiftigen Chlorwasserstoff (HCl) freisetzt, wurden im geschädigten Bereich neu durch HDPE-Material ersetzt.

### Kosten

Die Sanierungskosten betrugen 1,0 Mio Franken. Sie wurden vorläufig vom



Bild 14. Sanierung Fahrbahnplatte



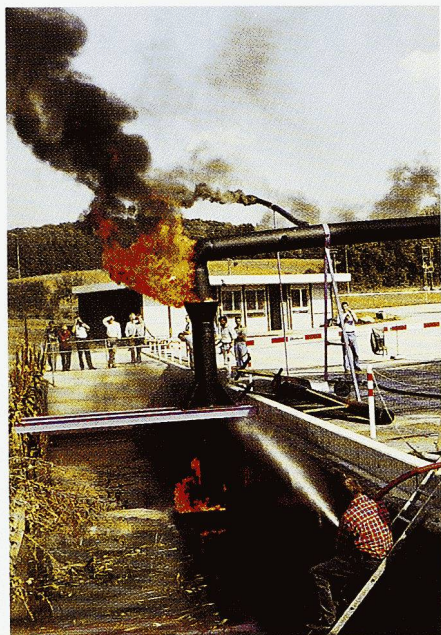


Bild 16. Brandversuche Brückenentwässerung 11.9.92

Werkeigentümer übernommen, weil die Abklärungen über die Brandursache auf dem Lastwagen nicht abgeschlossen sind und demzufolge die Haftungen noch nicht feststehen.

### Bauprogramm der Sanierung

Die Sanierungsarbeiten haben mit dem Lagerausbau am 20. Oktober 1989 begonnen und wurden intensiv durchgeführt. Die betroffene talseitige Brücke 5 konnte am 22. Dezember 1989 vor dem Wintereinbruch für den Verkehr wieder freigegeben werden.

Die Sanierung der Entwässerungsleitungen und die definitive Reparatur der Kabelleitungen dauerten noch weitere zwei Monate.

## Bücher

### Wegleitung für die Befestigung von Stahlprofilblechen

Schrift Nr. B7. Hrsg. Schweiz. Zentralstelle für Stahlbau (SZS). 60 Seiten, Figuren, Tabellen usw., A4, zweisprachig d-f, Preis: Fr. 45.-, Zürich, 1993. Bezug: SZS, Seefeldstr. 25, 8034 Zürich, Tel. 01/261 89 80, Fax 01/262 09 62

Für die Befestigung von Stahlprofilblechen hat sich die Bauhandwerker-Praxis bisher meistens auf einfachste Erfahrungswerte abgestützt, und unter Konkurrenzdruck wurde die Anzahl Befestiger manchmal noch weiter verdünnt. Schadenfälle haben gezeigt, dass dieses Vorgehen nicht länger haltbar ist. Dank der neuen SZS-Wegleitung lassen sich in Zukunft derartige Schadenfälle ausschliessen.

Die Wegleitung enthält Grundsätze, Hinweise und Bemessungswerte für Ingenieure

### Schlussfolgerungen

Der Umfang der Schäden und der erforderlichen Sanierungen zeigt, dass das Bauwerk Lehnenviadukt Beckenried beim Brandunfall mit einem «blauen Auge» davongekommen ist.

Es ist dies nicht einem Zufall zu verdanken, sondern hauptsächlich dem Umstand, dass der Konstruktionsbeton von hervorragender Qualität bezüglich Festigkeit und Dichtigkeit ist. Bei poröserem und weniger festem Beton wären die Abplatzungen infolge der grossen Hitze bedeutend tiefer und grossflächiger gewesen und hätten dadurch die Längsvorspannung und damit ein Haupt-Tragelement beschädigt, mit grossen Konsequenzen für die Sanierung.

Die aus EMPA-Versuchen ermittelten vorhandenen Würfeldruckfestigkeiten an Bohrkernen von 60–80 N/mm<sup>2</sup> sind aussergewöhnlich hoch. Die Ursache dafür liegt in der seinerzeitigen sorgfältigen Ermittlung der Betonrezeptur vor Inangriffnahme der Betonierungsarbeiten und in der kompromisslosen Durchsetzung der Qualitäts-Anforderungen sowohl seitens der Unternehmer-Arbeitsgemeinschaft wie seitens der Ingenieure.

### Folgerungen für die Zukunft

Für Neubauten von Brücken und für bestehende grosse Brücken mit ähnlichem Entwässerungs-System über Falleitungen in hohlen Pfeilern sind die Anforderungen an das Rohrsystem und an das Rohrmaterial zu überprüfen. Zu diesem Zwecke wurde unter der Leitung des Bundesamtes für Strassenbau eine Ar-

beitsgruppe geschaffen. Diese hat nach erfolgter Problemanalyse die Durchführung von Brandversuchen im Sommer 1992 angeordnet (Bild 16).

Sowohl aus dem Brandfall am Lehnenviadukt Beckenried wie auch aus den bisher durchgeführten Brandversuchen ist klar ersichtlich, dass dem Luftzutritt für die Entflammung und die Ausbreitung des Brandes in einem Brückenentwässerungssystem die Schlüsselrolle zukommt.

Deshalb ist es entscheidend, die Luftzutrittsmöglichkeiten zu unterbinden, bzw. auf ein Minimum einzuschränken. Andererseits muss jedoch in jedes Kanalisationssystem hinein eine gewisse Luftzufuhr erfolgen. Dies gilt insbesondere für Fallrohre im Krümmerbereich und für Wirbelfallschächte zur Aufrechterhaltung der vertikalen Luftsäule, um die hydraulische Funktion zu gewährleisten.

Der Verfasser ist persönlich der Auffassung, dass Einlaufleitungen und Hauptleitungen nach wie vor in HDPE-Material erstellt werden dürfen, dass jedoch alle Bereiche mit hydraulisch erforderlicher Luftzufuhr, wie Krümmerbereiche, Fallrohre usw., aus nicht-brennbarem Material erstellt werden müssen (Gusseisen, V4A-Stahl).

Bei bestehenden Brücken mit Ableitungssystemen, bei denen ein Brandunfall grosse volkswirtschaftliche Schäden verursachen würde, sollte das bestehende Material im kritischen Bereich schon jetzt gegen nicht brennbares ausgetauscht werden.

Adresse des Verfassers: D.J. Bänziger, dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC, Bänziger + Bacchetta + Partner, Ingenieure + Planer SIA ASIC, Engimattstrasse 11, 8027 Zürich.

sowie Faustregeln für Unternehmer und Handwerker zur Planung der Befestigung von Stahlprofilblechen auf Stahl-, Holz- und Betonunterkonstruktionen. Sie ist auch anwendbar auf die Befestigung tragender Zwischenlagen (z.B. Lattung) auf der Unterkonstruktion. Die Berücksichtigung dieser Wegleitung trägt zu einer fachgerechten Qualitätsarbeit und sicheren Befestigung bei.

### Merkblätter Faserbeton

43 Seiten mit 13 Bildern, 3 Tabellen und 28 Quellen, geh. Preis DM 25.-, Bezug: Deutscher Beton-Verein e.V., Postfach 2126, D-6200 Wiesbaden 1.

Das Merkblatt «Technologie des Stahlfaserbetons und Stahlfaserspritzbetons» befasst sich mit den Ausgangsstoffen und der Zusammensetzung, Herstellung und Verarbeitung (Baustellen- und Transportbeton,

Spritzbeton) und den Eigenschaften von Stahlfaserbeton (Festigkeits-, Verformungs- und Korrosionsverhalten). Ausführlich wird auf die Güteüberwachung eingegangen und dazu eine Übersicht der Prüfungen, Anforderungen, Umfang und Häufigkeit gebracht.

Das Merkblatt «Bemessungsgrundlagen für Stahlfaserbeton im Tunnelbau» enthält Grundlagen zum Ermitteln der Schnittgrößen und für die Bemessung (Biegung, Längs- und Querkraft, Verbund zwischen Betonen verschiedenen Alters, Dauerhaftigkeit, Wasserundurchlässigkeit; Sicherheitsbeiwerte) sowie Hinweise zur Konstruktion (Mindestabmessungen, Arbeits- und Betonierfugen, Bewehrung, Verbundmittel) und Bauausführung (Güteüberwachung, Zusatzmassnahmen). Erstmals werden damit Bemessungsverfahren für den Einsatz von Stahlfaserbeton und Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau gebracht.