

# Stahlbau unter Denkmalschutz – Grundinstandsetzung von Viadukt und Bahnhöfen der Hochbahnlinie U2 in Berlin-Prenzlauer Berg

Erhalt und Ertüchtigung denkmalgeschützter Verkehrsbauwerke sind ein konfliktträchtiges Terrain. Ihre kulturelle Bedeutung verpflichtet dazu, denkmalpflegerischen Anforderungen bestmöglich Rechnung zu tragen. Gleichwohl müssen Tragfähigkeit, Betriebsfestigkeit und Wirtschaftlichkeit gesichert werden. Im Fall des ab 1909 errichteten Brückenzugs der Hochbahnlinie 2 in Berlin-Prenzlauer Berg führte die Grundinstandsetzung zu eher ungewöhnlichen technischen Lösungen. Statt des zunächst favorisierten Einbaus einer Festen Fahrbahn wurden die historischen Fahrbahnbleche erneuert, ihren bauzeitlichen Mängeln jedoch durch Verbesserungen im Detail begegnet. Die bis zu 100 Jahre alten Brückenlager konnten weitgehend im Bestand verbleiben; ein Teil wurde durch leicht veränderte Nachbauten ersetzt. Im Ergebnis erwies sich eine nah am Bestand orientierte Instandsetzung nicht nur denkmalpflegerisch, sondern auch technisch und wirtschaftlich als die bestgeeignete Lösung.

**Strengthening of Listed Historic Steel Structures: Overhaul of Viaduct and Stations of the Elevated Railroad Line No. 2 in Berlin-Prenzlauer Berg.** Preservation and strengthening of listed structures is a civil engineering field likely to cause conflicts. The cultural significance of these edifices imposes the obligation to fulfill heritage requirements. However, load-bearing capacity, fatigue resistance and cost-effectiveness still need to be ensured. In the case of the viaduct of Berlin's elevated metro line no. 2, built from 1909 on, the extensive overhaul led to some unusual technical solutions. Initially the installation of a slab track had been proposed, but finally the historical buckled plates were replaced by new ones just changed in detail to correct some shortcomings. Although serving traffic for nearly 100 years, most of the historical bridge bearings could be kept in place. Just a few of them were replaced by slightly changed replicas. Eventually, the viaduct's overhaul inspired by the original structure proved to be the best solution with regard to heritage, structural and economical requirements.

## 1 Geschichte und Bedeutung

Der 1,7 km lange Viadukt der heutigen U-Bahnlinie 2 in Berlin-Prenzlauer-Berg entstand seit 1909 in zwei Phasen. 1913 wurde der Abschnitt bis zum Bahnhof Nordring (heute Schönhauser Allee) in Betrieb genommen (Bilder 1 und 2), 1927–30 folgte die Verlängerung bis zum damaligen Endbahnhof Pankow (heute Vinetastraße). Entwurf, Konstruktion und Gestaltung von Viadukt und Bahnhöfen sind Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit von Ingenieur und



*Bild 1. Ansicht des Viadukts, schwere Sandsteinpfeiler markieren die Straßenquerungen (1. Bauabschnitt 1909–13, Aufnahme vor 1920 [1])*

*Fig. 1. View of the viaduct, heavy piers mark the road crossings (1<sup>st</sup> stage 1909–1913, photograph before 1920 [1])*



*Bild 2. Untersicht des Viadukts mit alternierenden Kragrahmen und Einhängeträgern (1. Bauabschnitt 1909–13, Aufnahme vor 1920 [1])*

*Fig. 2. View from below with alternating cantilevered frameworks and suspension beams (1<sup>st</sup> stage 1909–1913, photograph before 1920 [1])*

Architekt, die schon in zeitgenössischen Publikationen als vorbildlich gewürdigt wurde [1] bis [4]. „Eine Form, in der das Technische ästhetisch geworden (...), eine Einfachheit, die Haltung hat ...“ erkannte 1914 etwa *Karl Scheffler* [1], und 1922 diagnostizierte *Paul Wittig* „Ingenieurbauten von modernem Ausdruck (...), bei denen kaum noch festzustellen ist, wo die Tätigkeit des Ingenieurs aufhört und die des Architekten beginnt“ [2]. Als Chefingenieur wirkte *Johannes Bousset* (1865–1945), als Architekt *Alfred Grenander* (1863–1931), ein Schwede, der drei Jahrzehnte lang die Architektur der Berliner Hoch- und Untergrundbahnen verantwortet und ihnen Würde und Ausdruck zu geben gewusst hatte. Seit 1978 unter Denkmalschutz, ist der Brückenzug heute Lebensader und Wahrzeichen des Bezirks Prenzlauer Berg.

## 2 Tragwerk

Statisch wie konstruktiv weisen die beiden Abschnitte des Viadukts deutliche Unterschiede auf, die der dynamischen Entwicklung des Stahlbaus nach dem 1. Weltkrieg geschuldet sind. Im ersten Teil hatten sich die Ingenieure 1909 noch an der 1902 eröffneten Hochbahnlinie 1 orientiert; wie dort bildet eine alternierende Reihe von Zweigelenk-Kragrahmen und Einhängerträgern das Hauptsystem (Bild 3). Die für die Linie 1 typischen filigranen Fachwerke wurden jedoch durch vollwandige Ausführungen ersetzt, die sich ermüdungstechnisch als wesentlich robuster erweisen sollten. Der zweite Bauabschnitt ist grundlegend anders ausgeführt. Eingespannte Hohlkasten-Stützen tragen nun vollwandige „Wippen“, die am Stützenkopf und auf einem Kragarm des Folgeträgers jeweils gelenkig

gelagert und mit 28,50 m auch weiter gespannt sind (vgl. Bild 15).

Die Fahrbahn (Gleis, Schwelle, Schotter) liegt auf Tonnenblechen, die in Fahrbahnmitte gestoßen waren und zu ihren schmalen Enden hin in doppelt gekrümmte Buckelbleche übergingen (vgl. Bild 4). In den eingleisigen Bereichen der Bahnhöfe kamen „echte“ Buckelbleche zur Anwendung. Die membranartige Beanspruchung ermöglichte geringe Blechdicken; entgegen zeitgenössischen Empfehlungen [5] wurden hier statt 8 sogar nur 7 mm gewählt. Zum günstigen Lastabtrag trug auch die linienförmige Lagerung auf den Quer- und Längsträgern bei, deren umlaufend enge Nietung zudem für eine konstruktiv dichte Fuge sorgen sollte. Nicht nur der unterschiedlichen Grundformen (Rechteck/Trapez) wegen, sondern auch in den Abmessungen variiert die Blechgröße stark. Im Ergebnis wurden seinerzeit die insgesamt etwa 2200 Bleche in mehr als 400 verschiedenen Ausführungen gefertigt.

Die hohe Zahl und Vielfalt der insgesamt 547 Brückenlager sind den kurzen Spannweiten und unterschiedlichen Randbedingungen geschuldet. Weitgehend noch bauzeitlich, lassen sie sich 12 verschiedenen Grundtypen zuordnen.

Beide Bahnhöfe des Viadukts stammen noch aus der ersten Bauphase. Die stählerne Hallenkonstruktion ist bestimmt durch Vollwand-Rahmen, der Mittelbahnsteig durch Ort betonplatten auf Fachwerk-Längsträgern (vgl. Bild 16). Schwere Querriegel tragen die Lasten von Rahmen und Längsträgern auf massive Pfeiler ab. Der durchlaufende Viadukt ist konstruktiv von Halle und Bahnsteig entkoppelt, jedoch im Achsraster aufeinander abgestimmt.

Als Werkstoff kamen bauzeitlich übliche Stähle (1909–13: Flusstahl, 1927–30: St 37) zur Anwendung, wo-

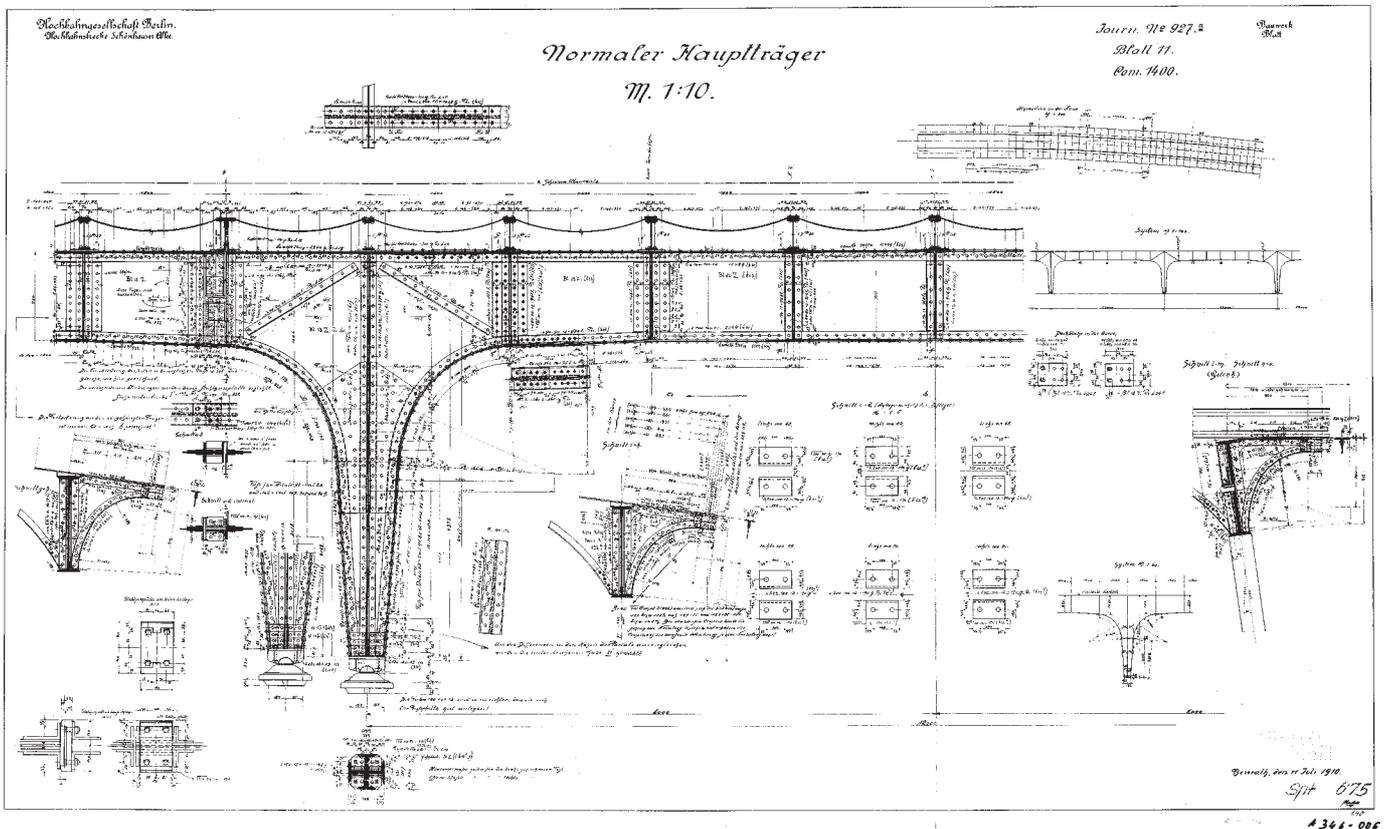


Bild 3. Bauzeitliche Werkzeichnung zu Kragrahmen und Auflager Einhängerträger (1. Bauabschnitt 1909–13, Archiv BVG)  
 Fig. 3. Historical blueprint of cantilevered framework and suspension beam (1<sup>st</sup> stage 1909–1913)

bei die Materialeigenschaften des Flussstahls im Wesentlichen bereits dem späteren St 37 gleich kamen. Als Verbindungsmittel wurden vornehmlich Niete eingesetzt.

### 3 Schäden und Ermüdung

Der Entwicklung des Sanierungskonzepts waren ab 1999 detaillierte Zustandsuntersuchungen des Viadukts vorausgegangen. Die mit Berechnungen und Probelastungen verbundenen Begutachtungen unter Mitwirkung der BAM Berlin und der MPA Brandenburg ermöglichten eine differenzierte Erfassung des Schadens- und Ermüdungszustandes.

Allgemein war der Korrosionsschutz des Haupttragwerks, eine Grundbeschichtung auf Bleibasis, oft unter bzw. abgerostet oder zumindest stark versprödet. Nur vereinzelt zeigten sich stärkere Abrostungen von bis zu 6 mm. Sie ließen sich i. d. R. auf Mängel im konstruktiven Korrosionsschutz zurückführen, ebenso wie die erheblichen Schäden an den Kabelkanälen und Geländern. Grundsätzlich aber gab der Korrosionszustand des Tragwerks keinen Anlass, etwa dessen vollständigen Ersatz ins Auge zu fassen. Zudem prognostizierten die Untersuchungen der Verfasser dem Viadukt selbst für die zwischenzeitlich gestiegenen Achslasten ausreichende Trag- und Ermüdungssicherheit; hier bewährte sich die im Vergleich zur U1 verbesserte, robuste Bauweise

Besorgniserregend indes war der Zustand der Fahrbahn. Korrosionsschäden hatten vereinzelt fast schon zur Durchrostung der Bleche geführt. Zudem verwiesen zahlreiche Risse in Auflagernähe hier tatsächlich auf ein Ermüdungsproblem [6], [7], s. a. Abschn. 5.1.

Als vor allem methodisch schwierig erwies sich die Zustandserfassung des historischen Lagerbestandes. Um ihn in seiner Gesamtheit verlässlich zu erfassen und typenbezogene Schadensbilder erkennen zu können, wurde ein detaillierter Lagerkatalog erarbeitet. Für jedes einzelne Lager wurden darin alle verfügbaren Archivalien, Charakteristika, Mängel und Schäden zusammengeführt. Demnach zeigten zwar einzelne Rollenlager Funktionseinschränkungen, insbesondere Rollen und Zapfen waren zum Teil korrodiert oder durchlunkert (vgl. Bild 11). Vereinzelt ließen auch Beschichtungsrisse zwischen Lagerkörper und angrenzenden Bauteilen auf Fehlfunktionen der Sollbewegungsfuge und abgescherte Verbindungsmittel schließen. Gravierende Schäden wie Brüche der Lagerplatten oder Risse in Bolzen oder Rollen aber wurden nicht gefunden. Die Mehrzahl der Lager konnte als voll oder zumindest eingeschränkt funktionstüchtig bewertet werden.

Insgesamt gesehen gab damit der Schadens- und Ermüdungszustand des Viaduktes (und auch der beiden Bahnhöfe) ungeachtet der zum Teil bereits einhundertjährigen intensiven Nutzung keine Veranlassung, den Bestand in Frage zu stellen und einen Ersatzneubau in Betracht zu ziehen. Bautechnik und Denkmalpflege begegneten sich als Partner mit grundsätzlich ähnlichen Interessen.

### 4 Besondere Herausforderungen

Im Einzelnen entwickelten sich Konzeption und Umsetzung der Sanierung gleichwohl zu einer spannenden Herausforderung. Bautechnische, verkehrliche, denkmalpflegerische und logistische Anforderungen mussten abgestimmt werden. So ist etwa jede Stilllegung dieses zentralen Glieds im Berliner Nahverkehrsnetz auf ein Minimum zu reduzieren; zudem ist die Schönhauser Allee Hauptachse auch des Straßenverkehrs und von Wohnhäusern gesäumt. Zwangsläufig ist eine derartig innerstädtische Großbaustelle mit der Verpflichtung zum Freihalten von Verkehrsachsen, umfangreichem Lärmschutz sowie Einschränkungen der Nacht- und Wochenendarbeit oder der Baustelleneinrichtung verbunden.

Vor allem aber galt es, bei der Sanierung dem vielschichtigen Wert des Viadukts zwischen modernem Verkehrsbauwerk, Stadtbild prägendem Brückenband und denkmalgeschützter Trasse gerecht zu werden. Das Konzept musste den Brückenzug als verlässliches Verkehrsbauwerk sichern, zugleich jedoch der kulturellen Bedeutung des historischen Erbes bestmöglich Rechnung tragen: Die Ingenieurplanung wurde zu einer technischen *und* denkmalpflegerischen Aufgabe.

In diesem Spannungsfeld ist es entscheidend, vorab Einvernehmen über die grundsätzliche denkmalpflegerische Zielstellung sowie die Denkmal konstituierenden Elemente zu erzielen. Als letztere wurden neben Struktur, Form, Silhouette und Farbigkeit des Viadukts auch die ästhetische Bedeutung und Vielfalt der Brückenlager sowie der charakteristische Aufbau der Fahrbahn benannt – eben jene Elemente, die des Eingriffs bedurften. Die denkmalpflegerischen Planungsparameter wurden in einigen Leitsätzen zusammengefasst: So wenig wie möglich – so viel wie nötig! Minimal-invasive Interventionen! Reparatur durch homöopathisch verbesserten Nachbau bei Wahrung des Erscheinungsbildes! Neubauten als Fortschreibung des historischen Bildes, jedoch in zeitgemäßer Bauweise („Weiterbauen“)! Methodisch orientierte sich die Planung im Übrigen an der 3-Phasen-Methodik der 2003 verabschiedeten ICOMOS-Charta “Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage” [8], [9] und dem daraus abgeleiteten strengen Arbeitskanon von Diagnosis – Safety evaluation – Design of intervention [10].

Im Ergebnis führte die Orientierung auf eine technisch wie denkmalpflegerisch gleichermaßen optimierte Lösung zu einer nah am Bestand ausgerichteten Instandsetzungskonzeption mit einigen eher ungewöhnlichen ingenieurtechnischen Lösungen. Sie soll am Beispiel der Fahrbahn und der Lager näher beschrieben werden.

Im Ergebnis führte die Orientierung auf eine technisch wie denkmalpflegerisch gleichermaßen optimierte Lösung zu einer nah am Bestand ausgerichteten Instandsetzungskonzeption mit einigen eher ungewöhnlichen ingenieurtechnischen Lösungen. Sie soll am Beispiel der Fahrbahn und der Lager näher beschrieben werden.

## 5 Erneuerung der Fahrbahn

### 5.1 Schadensanalyse

Die genauere Untersuchung der Risse in den Fahrbahnblechen führte auf einige offenkundig bereits bauzeitliche Konstruktionsmängel. So zeigte sich, dass die Abkantung zwischen der Rundung des Tonnenbleches und ihrem waagerechten Auflagerstreifen auf den Flanschen der Quer- bzw. Längsträger häufig nicht wie geplant unmittelbar an der Auflagerkante liegt, sondern aufgrund zu grober Einbautoleranzen um bis zu 35 mm auskragt. Statt als Membran ist das dünne Blech damit in der Realität als Kragarm beansprucht worden; die bei jeder Zugüberfahrt zusätzlich auftretenden Biegespannungen machten Ermüdungsrisse unvermeidlich. Es war vor allem dieser scheinbar kleine



*Bild 4. Demontage der Fahrbahnbleche, erkennbar die Korrosionsschäden am Querträger-Auflager (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)*

*Fig. 4. Removal of historical buckled plates, visible the corrosion at the connection with the cross beams*

Mangel im Detail, der in letzter Konsequenz die Erneuerung der gesamten Fahrbahn erzwang!

Weitere Mängel trugen zu den Rissen bei – so etwa scharfe Umformkanten an den Stirnseiten der Buckelbleche im Bahnhofsbereich, die ungeschützte Kerbwirkung scharfer Schottersteine oder nachträgliche Schweißungen mit Kehlnähten an einzelnen Fahrbahnblechen. Zu nennen ist auch der teilweise Verzicht auf die Deckbleche über deren Stoß auf den Trägerflanschen. Die hier aufgebrachte Dichtmasse aus Asphaltkitt lag damit frei und verlor durch Alterung und Versprödung ihre schützende Wirkung gegen Korrosion sowie die daraus resultierende Querschnittschwächung und Erhöhung der Kerbwirkung (Bild 4).

## 5.2 Grundsätzliche Sanierungsvarianten

Grundsätzlich boten sich drei Varianten für den Ersatz der historischen Fahrbahn an. Dabei favorisierte der Bauherr zunächst die Abkehr vom Schotterbett zugunsten einer Festen Fahrbahn; die historischen Bleche sollten dabei von ihrer statischen Funktion entbunden werden, jedoch im Bauwerk verbleiben.

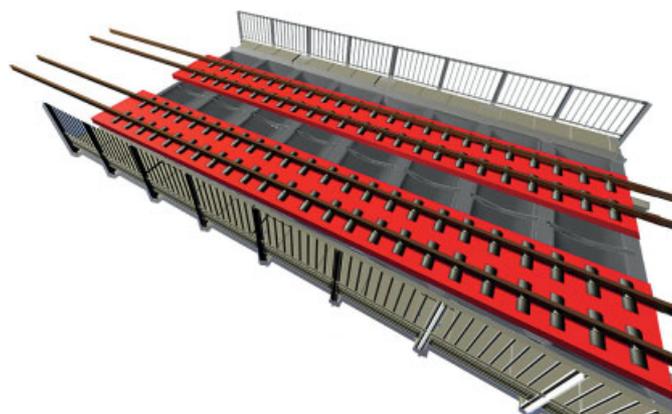
Der „klassischen“ Festen Fahrbahn am nächsten kam eine Lösung, die – ausgehend von Erfahrungen mit dem Bau eines Leichten-Masse-Feder-Systems (LMF-System) im Tunnel der U-Bahnlinie 2 – unter dem Namen „Vario-Track“ speziell auf die Gegebenheiten des Viadukts ausgerichtet worden war (Bild 5). Auf Trapezblechen betonierte Platten mit integrierten Zweiblockschwellen liegen dabei auf den Bestands-Querträgern des Viaduktes; die Bewegungsfugen der neuen Stahlbetonplatte korrelieren mit den Fugen der historischen Unterkonstruktion. Der vertikale Lastabtrag erfolgt über das System Schiene – Feder – Stahlbetonplatte – Feder in die Bestandskonstruktion, als Feder kommen Elastomerlager an den Schienenfestpunkten und auf den Querträgern zum Einsatz. Die Längs-Belastung aus unterschiedlicher Erwärmung von durchlaufender Schiene und Viadukt wird durch eine Minimierung des Durchschubwiderstandes der Schienenbefestigung stark reduziert.

Gleichwohl sollten Anfahr- und Brems-Lasten durch eine genaue Einstellung der Klemmkraft sicher in die Stahlbetonplatte übertragen werden können [11].

Dieser auch unter dem Stichwort „Beton auf Stahl“ gehandelten Festen Fahrbahn stand ein Alternativsystem „Stahl auf Stahl“ gegenüber, das beginnend im Jahr 2000 auf dem Viadukt der Linie 1 in Berlin-Kreuzberg eingeführt worden war (Bild 6). Stählerne Längsträger vermitteln hierbei den Lastabtrag von den hochelastisch auf ihnen befestigten Schienen auf die Bestands-Querträger. An jedem Auflager sichert ein passgenaues Formstück den Höhenausgleich, der Abtrag der Horizontallasten wird vom historischen Tragwerk entkoppelt und über neu angeordnete Verbände gewährleistet [12].

Beiden Lösungen wohnten nicht unerhebliche Schwierigkeiten inne. Als dritte Variante wurde deshalb von den Verfassern eine Lösung entwickelt, die im Prinzip die historischen Fahrbahnbleche nachbaute, die erkannten Mängel aber durch gezielte Optimierungen im Detail zu vermeiden suchte (Bild 7).

Eine vergleichende Bewertung der drei Alternativen nach möglichst allen relevanten Kriterien zeigte auf, dass keine der drei Varianten eindeutig zu favorisieren wäre. Unter Berücksichtigung auch der zu erwartenden Erstellungskosten erwies sich jedoch die dritte, „systemtreue“



*Bild 5. Variante 1: Feste Fahrbahn „Beton auf Stahl“ (Visualisierung Lorenz & Co. Bauingenieure)*

*Fig. 5. Option 1: Slab track 'concrete on steel'*



*Bild 6. Variante 2: Feste Fahrbahn „Stahl auf Stahl“ (Visualisierung Lorenz & Co. Bauingenieure)*

*Fig. 6. Option 2: Slab track 'steel on steel'*

Variante als die beste – eine Lösung, die sich mit der praktischen Umsetzung auch technisch und denkmalpflegerisch als optimal erwiesen hat (Bilder 8 und 9).



Bild 7. Variante 3: Nachbau „homöopathisch verbesserter“ Buckelbleche (Visualisierung Lorenz & Co. Bauingenieure)  
Fig. 7. Option 3: Replacement of buckled plates 'homoeopathically' changed in detail



Bild 8. Erneuerte Buckelbleche, HV-Schrauben statt Nieten, vor Aufbringen des Schotterbetts (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)  
Fig. 8. Replaced buckled plates with high-strength bolts instead of the rivets before inserting the road bed



Bild 9. Saniertes Viadukt mit erneuerten Fahrbahnblechen (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)  
Fig. 9. Overhauled viaduct with renewed track plates

### 5.3 Konstruktion der Fahrbahn: Passgenaue Optimierung des historischen Musters

Das entscheidende Kriterium für den Erfolg des originalnahen Nachbaus der historischen Fahrbahnbleche lag in der Eliminierung der in der Schadensanalyse diagnostizierten Mängel. Insbesondere musste eine Lösung entwickelt werden, die den über 400 verschiedenen Bauteilgeometrien mit einem Toleranzniveau gerecht werden konnte, durch das sich die unzulässigen Auskragungen des Originalzustands und die daraus resultierenden Ermüdungsprobleme verhindern ließen.

Den Schlüssel zum Erfolg bildete zum einen eine detaillierte Blech-Datenbank, in der jedes der etwa 2200 Bestandsbleche in seiner Geometrie erfasst worden war. Sie ermöglichte sinnvolle Cluster-Bildungen unter der Maßgabe maximaler Auskragungen von nur 10 mm. In Verbindung mit einer Erhöhung der Blechdicke von 7 auf 9 mm konnte damit selbst unter ungünstigsten Bedingungen die Dauerfestigkeit für die Längs-Spannungsspiele mit einer Auslastung von 88 % nachgewiesen werden.

Zum anderen musste ein Herstellungsverfahren gefunden werden, das die unter diesen Vorgaben erforderliche Anzahl unterschiedlicher Cluster/Bleche noch wirtschaftlich zu produzieren erlaubte. Eine Warmumformung schied wegen der hohen Anzahl der erforderlichen Gesenke und der damit verbundenen Kosten aus – ein Problem, das die Planer 1909 noch dadurch gelöst hatten, dass sie den Gesenkbedarf durch Aufweitung des Toleranzniveaus reduzierten und damit die benannten Ermüdungsprobleme provozierten. Auch die Alternative, die Fahrbahnbleche aus nur einachsigen gekrümmten oder sogar ebenen Teilblechen zu verschweißen, wurde wegen der deutlich ungünstigeren Tragwirkung verworfen. Den Durchbruch lieferte ein Sondervorschlag des Stahlbauers, der RW Sollinger Hütte GmbH, der die Herstellung räumlich gekrümmter Bleche durch hydraulische Kaltverformung ebener Ausgangsbleche vorsah. Das zwischenzeitlich patentierte Verfahren ermöglichte die flexible Anpassung an unterschiedliche geometrische Randbedingungen und damit die Einhaltung der geforderten Einbautoleranzen. Die aus der Kaltumformung möglichen Eigenspannungen wurden in Hinblick auf das bei dieser Lösung niedrige Niveau der ermüdungsrelevanten Spannungen als tolerabel akzeptiert. Weitere Einzelheiten der Herstellung, des Einbaus, des Ersatzes der ursprünglichen Nieten durch GV-Verbindungen sowie des Korrosionsschutzes sind in [13] beschrieben.

## 6 Lagernsierung

### 6.1 Strategie

Bereits die erste Erfassung des umfangreichen Lagerbestandes hatte deutlich gemacht, dass der ursprünglich aufgrund der Überschreitung der üblichen Lebensdauer geplante, vollständige Ersatz der historischen Lagerkörper in Frage gestellt werden konnte. Dem kam im vorliegenden Fall besondere Bedeutung zu, weil der Einbau neuer Fest-, Gleit- oder Verformungslager heutiger Bauart wegen ihrer in der Regel geringeren Höhe erhebliche konstruktive Eingriffe in den Bestand bedingt hätte. Stattdessen wurde ein differenziertes Konzept ins Auge gefasst, das für den überwiegenden Teil der Lager deren Erhalt und für den Rest

einen originalnahen Nachbau vorsah: Technische, wirtschaftliche und denkmalpflegerische Interessen konnten in Einklang gebracht werden.

## 6.2 Typologie

Als unverzichtbare Grundlage für eine derartige Interventionsstrategie erweist sich der im Rahmen der Bestandserfassung erarbeitete detaillierte Lagerkatalog. Er erst ermöglichte es, Klarheit in den zunächst kaum überschaubaren Lagerbestand zu bringen, typologische Zuordnungen auszumachen und die beobachteten Schäden und Mängel typenspezifisch zuzuordnen (Bild 10). Die identifizierten 12 Grundtypen lassen sich drei Hauptgruppen zuordnen:

- Linienkipplager über Wölbung oder Zapfen, unverschieblich durch Mittelanschlag, Randanschlag oder eine Lasche am Hauptträgeruntergurt
- Linienkipplager über Wölbung oder Zapfen, verschieblich durch Gleiten „Stahl auf Stahl“ oder die Anordnung von bis zu vier Rollen/Stelzen
- Punktkipplager, unverschieblich oder verschieblich durch die Anordnung von Rollen.

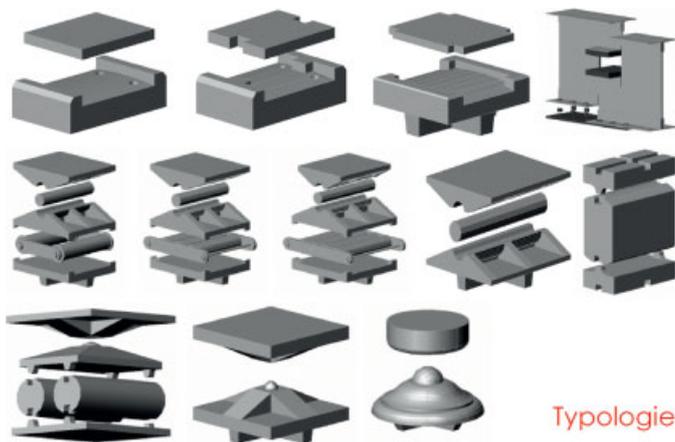


Bild 10. Lagertypologie (Visualisierung Lorenz & Co. Bauingenieure)

Fig. 10. Typology of bearing supports

## 6.3 Vertiefung der Zustandsanalyse durch Lager-Probeaustausch

Im Ergebnis der ersten Schadensaufnahme hatten sich etwa zwei Drittel des Lagerbestandes als weiterhin funktionsfähig einschätzen lassen. Das verbleibende Drittel zeigte mehr oder weniger deutliche Funktionseinschränkungen, die mittelfristig zu Schädigungen des Stahlbauwerks führen konnten. Hier schien eine Intervention tatsächlich erforderlich zu sein. Die Schadenserfassung war bis dahin allerdings auf die handnahe visuelle Inspektion begrenzt geblieben. Um zumindest exemplarisch weitergehende Informationen wie etwa zu Anrissen oder Lunkern in einzelnen Lagerteilen oder auch zu den Materialkennwerten zu gewinnen, wurden einige Brückenlager vorab in einem Probeaustausch ersetzt und die – möglichst zerstörungsarm – geborgenen Bestandslager einer genauen labortechnischen Untersuchung unterzogen. Ausgewählt wurden 10 Lager

fünf verschiedener Typen, acht davon aus dem Bereich der Strecke, zwei aus dem Bahnhof Eberswalder Straße. Die labortechnische Untersuchung zeigte, dass

- die Korrosionsschäden an Lagerrollen und Berührungsflächen der Linienkipplager über Wölbung teilweise stärker waren als visuell erfasst (Bild 11).
- die Lagerrollen sich zum Teil bereits in die untere Lagerplatte eingearbeitet hatten.
- die Materialgüten andererseits höher anzusetzen waren als – auf der sicheren Seite liegend – zunächst angenommen (Lagerrollen St 52 statt St 37, Lagerplatten GS 52 statt GS 38).

Neben der exemplarischen Vertiefung der Material- und Zustandsanalyse diente der Probeaustausch auch dazu, Aufschluss über die praktische Durchführbarkeit des Lagerersatzes zu gewinnen. Dem kam besondere Bedeutung zu, da bei der Errichtung des Viaduktes für einen späteren Lageraustausch noch keine konstruktive Vorsorge getroffen worden war und zudem großes Interesse an einer späteren Realisierung bestand, die ohne eine Steckenstilllegung stattfinden konnte. Auch dazu lieferte der Probeaustausch wertvolle Erkenntnisse:

- Die Lager ließen sich bereits bei einer Überbau-Hubhöhe von 5 mm demontieren und neu einsetzen.
- Der zugehörige Hubvorgang einschließlich des Sicherns der Hydraulikpressen ließ sich in 1,5 Minuten (und damit zwischen zwei planmäßigen Zugüberfahrten) realisieren.
- Der eigentliche Ausbau und Wieder-Einbau der Lager war innerhalb des durch die nächtliche Betriebspause gegebenen Zeitfensters von ca. 3 Stunden möglich.
- Die temporären Hilfskonstruktionen für die Abstützung der Überbauten konnten mehrfach verwendet werden.

Im Rückblick hat sich der Probeaustausch als wichtiges Planungswerkzeug erwiesen. Die Präzisierung der Zustands- und Materialbefundung gab wertvolle Hinweise



Bild 11. Ausgebauter Lagerkörper, partiell abgegriffener Zapfen mit Rostnarben und Lunkern (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)

Fig. 11. Dismantled bearing support, pivot pin with corrosion pits and bubbles

zur Identifikation der tatsächlich zu ersetzenden Lager. Die bautechnische Umsetzung der erforderlichen Austausch konnte optimiert und die Ausführungsplanung passgenau darauf eingestellt werden.

#### 6.4 Endgültiges Sanierungskonzept

Zur endgültigen Festlegung über Verbleib, Ersatz oder Sanierung der einzelnen Brückenlager wurde eine Entscheidungsmatrix entwickelt, in die neben den Erkenntnissen aus Lagerkatalog und Probelageraustausch auch Lagerberechnungen für die nun anzusetzenden Lasten sowie die Ergebnisse einer Robustheitsstudie einfließen, die die Auswirkungen eingeschränkter Lagerbewegungen auf die angrenzenden Bauteile und Brückenjoche untersuchte. Das Tragwerk erwies sich in dieser Hinsicht vor allem wegen der geringen Spannweiten als recht gutmütig. Das endgültige Sanierungskonzept sah drei Varianten der Intervention vor:

1. Sanierung des Lagers in situ, in der Regel beschränkt auf die Erneuerung des Korrosionsschutzes
2. Sanierung des Lagers nach Entnahme mit anschließendem Wiedereinbau, in der Regel verbunden mit dem Austausch der Rollen verschieblicher Linienkipplager (Bild 12)
3. Ersatz der Lager durch einen „homöopathisch“ verbesserten Nachbau, der z. B. Oberflächenhärtungen durch Auftragsschweißungen, Führungsschienen oder den Ersatz der ungünstigen 3- bzw. 4-Rollenlager durch 2-Rollenlager beinhaltet (Bild 13), vgl. [14].

Im Ergebnis konnten von den insgesamt 547 erfassten Brückenlagern 385 im Bestand erhalten werden – 365 davon wurden in situ saniert, 20 weitere nach Entnahme und Sanierung wieder eingebaut. Lediglich 162 Lager wurden durch neue Nachbauten ersetzt. An 50 im Bestand verbliebenen Lagern wurden im Übrigen die Verbindungsmittel ausgetauscht.



*Bild 12. Überarbeiteter Lagerkörper mit erneuerten Rollen und Zapfen vor dem Wiedereinbau (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)*  
 Fig. 12. Overhauled bearing support with renewed rollers and pivot pin



*Bild 13. Erneuerter Lagerkörper vor Absenken des Überbaus (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)*  
 Fig. 13. Totally renewed bearing support before lowering the superstructure

#### 7 Bauablauf

Ausgehend von den günstigen Ergebnissen des Probeaustauschs konnte der Ersatz der Brückenlager bereits im Juli 2008 als vorgezogene Baumaßnahme ohne Streckenstilllegung in Angriff genommen werden. Zu Beginn blieben das Anheben und Wiedereinsenken der Überbauten noch auf die nächtlichen Betriebspausen beschränkt. Nach durchweg positiven ersten Erfahrungen konnten die Hubvorgänge jedoch in die normale Betriebszeit verlegt werden und ohne teure Nacharbeit, jeweils innerhalb der 90-sekündigen Zeitfenster des Zugintervalls, durchgeführt werden.

Zur Abstützung der Überbauten kamen verschiedene Hilfskonstruktionen zum Einsatz – ausgesteifte Stahlstützen unter den Hauptträgern, die die Lasten über Stahlbetonfundamente auf ein Planum aus lagenweise verdichtetem Kiessand oder Magerbeton abgaben, oder aber Trägerroste auf Bestandsunterzügen, die den anzuhebenden Überbau im Nachbarfeld abstützten. Zudem ließen sich die massiven Naturstein-Pfeiler als Hubgrundlage nutzen.

Die Hauptmaßnahme, die vor allem den Austausch der Fahrbahnbleche sowie alle weiteren Stahlbauarbeiten am Viadukt umfasste, erfolgte in den Jahren 2009 und 2010 im Rahmen zweier Streckenstilllegungen von fünf- bzw. siebenmonatiger Dauer. 2009 wurden 700 m, 2010 die verbleibenden 1000 m Strecke saniert. Um die vorgegebenen Zeitfenster einhalten zu können, musste 2010 an vier Bauabschnitten parallel gearbeitet werden; jeder Bauabschnitt bestand aus vier aneinander gereihten Baufeldern mit separaten Staub- und Lärmschutzeinhausungen. Der Bauablauf war in vier Arbeitsschritte gegliedert:

- Demontage der Fahrbahn durch Abtrennen der Nietköpfe, Ausschlagen der Niete mit einem Pressluftmeißel und Entfernen der Fahrbahnbleche
- Strahlen der Auflagerflächen für die Fahrbahnbleche, Aufbringen der Beschichtung für die GV-Verbindungen
- Einbau der neuen Fahrbahnbleche sowie Durchführung sämtlicher Stahlbaureparaturen inklusive Instandsetzung der Kabelkanäle

- Strahlen der gesamten Fahrbahnkonstruktion, Aufbringen des Korrosionsschutzes.

Unerwartet waren die hohen Temperaturen in den für das Strahlen komplett eingehausten Baufeldern. Aufgrund der besonders heißen Sommer erreichten sie bis über 60 °C. Als größtes Problem der Baumaßnahme aber erwies sich die Lärmbelastung der Anwohner. Zwar „wanderten“ die Hauptlärmquellen durch das stetige Versetzen der eingehausten Baufelder, gleichwohl führten diverse Beschwerden dazu, dass für die besonders lärmintensiven Arbeitsschritte ‚Ausstemmen der Niete‘ und ‚Strahlen der Bestandskonstruktion‘ auf den Wochenendbetrieb verzichtet werden musste.

## 8 Ergebnis und Erkenntnisse

Nach mehr als zehnjähriger Vorbereitung, Planung und Umsetzung konnte die Grundinstandsetzung des Viadukts

der U2 im Frühjahr 2011 termingerecht abgeschlossen werden (Bilder 14 bis 17); die geplanten Baukosten von ca. 78 Mio. € wurden nicht überschritten. Das Projekt unterstreicht nachdrücklich, dass Bautechnik und Denkmalpflege selbst bei einem derartigen Verkehrsbauwerk nicht im Widerspruch zueinander stehen müssen, sondern aus dem konstruktiven Dialog beider Partner neuartige, technisch wie wirtschaftlich interessante Lösungen erwachsen können. Es bestätigt zudem die These, dass Sanierungskonzepte oft umso besser werden, je näher sie sich an den Vorgaben des historischen Bestandes orientieren. Die baupraktische Auseinandersetzung mit den historischen Brückenlagern führte zudem auf interessante ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen, die zwischenzeitlich in Kooperation der BTU Cottbus mit der BAM Berlin in einem von der DFG geförderten Projekt bearbeitet werden [15]. Trotz aller mit der Baumaßnahme verbundenen Unannehmlichkeiten stieß die Ingenieurarbeit zur Erhaltung



*Bild 14. Sanierte Lagerkörper unterhalb des Bahnhofs Eberswalder Straße (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)*  
*Fig. 14. Overhauled bearing supports beneath station 'Eberswalder Straße'*



*Bild 16. Hallenrahmen im Bahnhof Eberswalder Straße nach der Sanierung (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)*  
*Fig. 16. Frameworks in the station 'Eberswalder Straße' after overhaul*



*Bild 15. Viadukt im 2. Bauabschnitt (1927–30) nach der Sanierung (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)*  
*Fig. 15. Viaduct (2<sup>nd</sup> stage 1927–1930) after overhaul*



*Bild 17. Ausgang zum Bahnhof Eberswalder Straße nach der Sanierung (Aufnahme Lorenz & Co. Bauingenieure)*  
*Fig. 17. Station 'Eberswalder Straße' after overhaul*

des Baudenkmals im Übrigen auf überraschend große öffentliche Zustimmung. Ihren Ausdruck fand sie unter anderem in der Auszeichnung des sanierten Viadukts als Berliner „Denkmal des Monats“ anlässlich der Wiederaufnahme des Verkehrs im Dezember 2010 [16].

## Dank

Der Dank der Verfasser für die hervorragende Zusammenarbeit gebührt allen Partnern, vor allem aber den Verantwortlichen der Berliner Verkehrsbetriebe BVG, die sich auf den nicht selbstverständlichen Weg der denkmalgerechten Sanierung eines 100 Jahre alten Verkehrsbauwerkes eingelassen und dabei auch zahlreiche Detaillösungen jenseits des hausinternen Planungshandbuchs mitgetragen haben.

## Projektbeteiligte:

Bauherr und Projektleitung:

Berliner Verkehrsbetriebe BVG, Berlin

Objekt- und Tragwerksplanung, Lph. 1 bis 5:

Prof. Dr. Lorenz & Co. Bauingenieure GmbH, Berlin

Prüfingenieur:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler, Dresden

Denkmalpflegerische Beratung:

Untere Denkmalschutzbehörde, Berlin-Pankow

Bauoberleitung:

Büro ‚Die Brücke‘, Berlin

Bauausführung Stahlbau/Viadukt und Lagersanierung:

RW Sollinger Hütte GmbH, Uslar

Bauausführung Bahnhöfe Eberswalder Straße und Schönhauser Allee:

Arge U2, Technische Geschäftsführung Bleck & Söhne

Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG, Berlin

Korrosionsschutz:

Litterer Korrosionsschutz GmbH, Niederlassung Berlin

## Literatur

- [1] Wittig, P.: Die Architektur der Hoch- und Untergrundbahn in Berlin. Berlin: Zirkel Architektur-Verlag 1922.
- [2] Scheffler, K.: Gute und schlechte Arbeiten im Schnellbahngewerbe. In: Der Verkehr. Jahrbuch des Deutschen Werkbundes. Jena 1914, S. 42–47.
- [3] Bohle-Heintzenberg, S.: Architektur der Berliner Hoch- und Untergrundbahn. Berlin: Arenhövel 1980.
- [4] Landesdenkmalamt Berlin (Hrsg.): Berliner U-Bahnhöfe zwischen Krumme Lanke und Vinetastraße. Beiträge zur Denkmalpflege in Berlin, Heft 8. Berlin 1996.

[5] Schaper, G.: Eiserne Brücken. Berlin 1908.

[6] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Untersuchung der Tragfähigkeit von Schotterblechen an der U-Bahn-Linie U2 am Bauwerk LXV in Berlin/Schönhauser Allee, Gutachten 9. 3. 1999, Aktenzeichen VII.21/26 159, unveröffentlicht.

[7] Materialprüfungsamt des Landes Brandenburg: Untersuchungen zur Schadensermittlung an den Fahrbahnblechen der U-Bahn Linie U2 im Viaduktbereich zwischen den U-Bahnhöfen Eberswalder Straße und Vinetastraße, Gutachten 10. 3. 1999, Nr. 1.3/3688, unveröffentlicht.

[8] International Council of Monuments and Sites (ICOMOS): Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Charter of Victoria Falls. 2003.

[9] Ders.: Recommendations for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Guidelines on the Charter of Victoria Falls. 2003.

[10] Roca, P.: The Study and Restoration of Historical Structures: From Principles to Practice. In: Lourenco, P. B. u. a. (Ed.): Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 6.–8. 11. 2007, New Delhi, pp. 9–24.

[11] Heitkamp Rail GmbH: Vario-Track – Neuartiges Leichtes-Masse-Feder-System für den Einbau auf den stählernen Viadukten der Berliner U-Bahn. Machbarkeitsstudie Nov. 2004, unveröffentlicht.

[12] Kutscher, U., Wette, K.: Einbau einer Festen Fahrbahn auf den Hochbahnviadukten der Berliner U-Bahn. Eisenbahningenieur 53 (2002), S. 6–10.

[13] Bornhövd, W., Braun, J., Stricker, R., Tusche, J.: Fahrbahn der historischen Hochbahnviadukte im Zuge der U-Bahnlinie U2 in Berlin – Sanierung unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes. Stahlbau 80 (2011), H. 3, S. 156–161.

[14] Lorenz, W.: Lagersanierung des Hochbahn-Viaduktes der U-Bahn-Linie 2 in Berlin-Prenzlauer Berg. In: BAM (Hg.): Tagungsbericht zu Sonderkapiteln aus dem Brücken- und Ingenieurbau. Okt. 2003, S. 59–65.

[15] Wetzck, V., Eisenkolb, T., Mehdiانpour, M.: Bewertung historischer Brückenlager – Das Kontaktproblem. Stahlbau 80 (2011), H. 6, S. 404–412.

[16] Jaeger, F.: Der Ingenieur als Denkmalpfleger – Hochbahnviadukt der U-Bahnlinie 2 in Berlin. In: Bundesingenieurkammer (Hg.): Ingenieurbaukunst made in Germany 2010/2011. Hamburg: Junius 2010, S. 70–75.

## Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Michael Fischer, michael.fischer@lorenz-co.de,

Prof. Dr. Lorenz & Co. Bauingenieure GmbH, Arndtstraße 34, 10965 Berlin

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Werner Lorenz, werner.lorenz@tu-cottbus.de,

Brandenburgische Technische Universität Cottbus,

Lehrstuhl Bautechnikgeschichte und Tragwerkserhaltung, 03013 Cottbus