Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 109 (1991)

Heft: 30-31

Artikel: Neue Stahlfachwerkbrücken: Ersatz der SBB-Muotabrücken zwischen Schwyz und Brunnen

Autor: Allemann, Heinz / Pfister, Franz / Furrer, Heiner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85987

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.08.2025

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

Neue Stahlfachwerkbrücken

Ersatz der SBB-Muotabrücken zwischen Schwyz und Brunnen

Im Zuge der Erneuerung der alten Stahlfachwerkbrücken an der Gotthardlinie mussten als eines der letzten Objekte die Zwillingsbrücken über die Muota, erstellt 1882 bzw. 1903, erneuert werden. Die Bedingungen einer stützenfreien Flussüberquerung, einer Vergrösserung des Lichtraumes über dem Flussbett und des durchgehenden Schottertroges führten erneut zu einer Stahlfachwerklösung mit geschlossenem Querschnitt, wobei auf eine optimale Materialausnutzung bei bestmöglichen Ermüdungskriterien geachtet wurde.

Autorengemeinschaft

Heinz Allemann, Schwyz, *Alfred Dummermuth*, Arth-Goldau, *Heiner Furrer*, Luzern, *Fridolin Müller*, Würenlingen, *Franz Pfister*, Schwyz *Jean-Jacques Reber*, Bern *Max Schneider*, Jona.

Anstelle der direkten Gleisauflagerung wurde bei dieser Sanierung ein Schottertrog aus Stahl angeordnet. Mit

VON HEINZ ALLEMANN, SCHWYZ, et al.

der Anordnung von Querträgern im Abstand von 85 cm konnte eine minimale Konstruktionshöhe von 1,10 m erzielt werden. Der Schottertrog ist über die ganze Länge durch Verschraubung an die Hauptträger befestigt, so dass dieser am meisten beanspruchte Bauteil der Brücke ausgewechselt werden kann. Bei der Materialwahl stand Fe 360 D und Fe 510 D im Vordergrund.

Aus betrieblichen Gründen, d.h. durchgehender zweispuriger Bahnbetrieb mit 100 km/h Geschwindigkeit, musste der Ersatz der bestehenden Brücken wieder durch zwei Einspurbrücken vorgenommen werden. Die Erhöhung der Gleisnivelette um 1,0 m bedingte die Erstellung von beidseitigen Anpassungsrampen von je 300 m Länge. Die Brücken wurden an Land mittels eines fahrbaren Bockkrans montiert und in der Längsachse über den Fluss vorgeschoben und auf die Widerlager abgesenkt.

Vorgeschichte

Im Talkessel von Schwyz überquert die zweispurige Gotthardlinie zwischen Schwyz und Brunnen die Muota. Die ältere der beiden Brücken wurde als schweisseiserne Fachwerkbrücke mit 55,1 m Stützweite und schiefer Lagerung durch die Firma Theodor Bell & Cie, Kriens, gebaut und im Jahre 1882 in Betrieb genommen. Beim flussaufwärtigen Ausbau auf Doppelspur im Jahre 1903 fabrizierte die Firma Bosshard & Cie, Näfels, eine ähnliche Konstruktion aus Flusseisen mit schweisseisernen Nieten. Im Verlaufe der Zeit haben sich die Normlastenzüge der Berechnungsgrundlagen wesentlich verändert: Der Lastenzug der Eidgenössischen Brückenverordnung von 1892 setzte sich aus einer Dampflokomotive mit Tender und Zweiachswagen zusammen, wobei die Laufmeterlast der Lokomotive samt Tender rund 5,6 kN/m betrug. Die Lastbilder der heute gültigen SIA-Norm sehen Laufmeterlasten von bis zu 150 kN/m vor, was dem heutigen Bedürfnis nach Achslasten bis 225 kN Rechnung trägt.

Neben diesen statischen Vorgaben sind auch die dynamischen Effekte zu beachten. Infolge der stufenweisen Erhöhung der Verkehrsgeschwindigkeiten sind die Stossbeiwerte heute wesentlich grösser als jene von 1892.

All dies hatte zur Folge, dass bereits in den Jahren 1896–1906 die Brücke der ersten Spur für die grösseren Zugslasten und in den Jahren 1920–1922 diejenigen beider Spuren für die grösseren Achs- und Zugslasten verstärkt werden mussten. Auch die Transportmengen nahmen im Laufe der Jahre stets zu. Wurden 1883 mit täglich rund 20 Zügen noch 250 000 Reisende und 300 000 Nettotonnen jährlich mit der Gotthardbahn befördert, sind es heute mehr als 6 Millionen Reisende und 13,5 Millionen Nettotonnen Güter pro Jahr. Diese ständig wachsenden Anforderungen in Verbindung mit den zunehmenden Aufwendungen für den Unterhalt und die Sanierungen führten zum Entscheid, die rund 100 Jahre alten Bauwerke zu ersetzen.

Randbedingungen

Die betrieblichen Randbedingungen waren bei der Wahl des Bauvorganges von höchster Priorität. Infolge der enormen Verkehrsdichte sind im heutigen Fahrplan längere Einspurbetriebe zwischen Schwyz und Brunnen nicht mehr möglich. Einzig für Gleisanpassungen werden solche während einzelner Wochen toleriert. Zudem müssen alle Streckengleise während der ganzen Dauer der Bauzeit mit 100 km/h befahren werden können. Aus diesen Gründen wurde ausserhalb der Doppelspur eine Umfahrungslinie gebaut.

Mit Rücksicht auf den Fahrkomfort der Züge, verbunden mit einer Reduktion der Lärmimmissionen, wurde neu ein durchgehendes Schotterbett von 55 cm Stärke auf der Brücke verlangt. Diese Massnahme garantiert zudem einen rationellen Unterhalt und eine beschränkte Korrekturmöglichkeit in der Gleisgeometrie.

Beim Neubau der Muotabrücke wurde gleichzeitig die Gelegenheit benützt, für den Hochwasserschutz bessere Verhältnisse zu schaffen. Die Variante einer Dreifeldbrücke mit zwei Pfeilern in der Muota wurde aus wasserbaulicher Sicht nach Abwägung der Risiken abgelehnt. Als Tragsystem wurde deshalb ein Einfeldträger ohne Zwischenstützen gewählt. Gegenüber der Höchsthochwasserkote (HHQ) vom Hochwasser des Jahres 1977 wurde ein Freibord von 50 cm gefordert. Die Brücke ist mit einer glatten Untersicht versehen, damit sich Baumstämme nicht an der Konstruktion verfangen können.

Die Bedingungen des Schotterbettes und des Freibordes gegenüber der Muota sowie die Stützenfreiheit führten zu einer Hebung des Bahndammes und der Gleise um 1,0 m. Durch eine ausgedehnte Längenprofilkorrektur und eine minimale Konstruktionshöhe konnten die Nachteile der erhöhten Gleislage in einem tragbaren Rahmen gehalten werden.

Projektwahl

Die zur Ausführung gelangte Lösung muss in Zusammenhang mit den sehr einschneidenden Vorgaben gesehen werden. Schon beim bestehenden Muotaübergang waren beidseitig Rampen erforderlich. Die alten Brücken mit offener Fahrbahn wiesen eine sehr geringe Bauhöhe (Unterkant Hauptträger bis Oberkant Schiene) von nur 800 mm auf.

Für das Tragsystem war daher von allem Anfang an eine Lösung mit möglichst kleiner Konstruktionshöhe gefragt. Da andererseits die Spannweite von 60 m eine entsprechende Tragwerkshöhe bedingt, war die Anordnung der Hauptträger neben der Fahrbahn ebenso einleuchtend wie früher. Schon beim Entwurf zeigte sich , dass ein vollwandiges Tragwerk gegenüber einem aufgelösten bei dieser Spannweite zu schwerfällig wird. Ein Fachwerk bot sich dagegen als altbewährte und dennoch bestgeeignete Lösung an (Bild 1 und 2).

Die Etappierung der Arbeiten war ein Hauptgrund für die Wahl von 2 eingleisigen Brücken. Anderseits kam die damit verbundene kürzere Spannweite für die Querträger wiederum der Bauhöhe entgegen.

Bild 1. Neue Muotabrücke, Übersicht

Projektbeschrieb

Hauptträger

Der neue Muotaübergang besteht aus 2 gleichen Brücken. Zwei Trapezträger mit einer einfachen, nahezu gleichseitigen Strebenausfachung bilden das Haupttragwerk. Ihr Abstand ergab sich aus dem Lichtraumprofil und der Konstruktionsbreite. Diese darf bei aufgelöster Bauweise zum Fluchtraum gerechnet werden. Die wirtschaftliche Systemhöhe lag im vorliegenden Fall schon nahe bei jener Grösse, welche für den geschlossenen Querschnitt mindestens erforderlich ist. Der geschlossene Brükkenquerschnitt hatte zudem eindeutig den Vorteil besserer Stabilität für die gedrückte Gurtung. Die untere Gurtung wirkt zusätzlich als durchlaufender Balken mit elastischer Stützung bei den Fachwerkknoten. Sie wurde als geschweisster I-Träger gefertigt. Alle anderen Stäbe (obere Gurtung und Diagonalen) bestehen aus Walzprofilen aus den Reihen HHD, HEB und HEA. Die Stösse der Gurtungen wurden auf Montage geschweisst, die Strebenanschlüsse mit hochfesten Passschrauben verlascht. Die Walzprofile wie die geschweisste untere Gurtung liegen mit den Stegen in der Systemebene und bilden damit eine einwandige Konstruktion. Eine Ausnahme musste für die Endstreben gemacht werden, welche den oberen Horizontalverband abstützen und daher massgeblich auf Querbiegung beansprucht werden. Die starke Profilachse war deshalb hier in die Rahmenebene zu legen.

Schottertrog

Neuartig ist bei diesen Brücken die Ausbildung des Fahrbahntroges in Stahl. Die Wanne wird nur durch Querträger gestützt. Anstelle von sekundären Längsträgern wurde im Einflussbereich der Gleislasten ein dickeres Blech gewählt. Der Nachteil etwas grösseren Materialaufwandes wird durch die einfache Bearbeitung mehr als aufgewogen. Die Verbindungen des Schottertroges mit den Hauptträgern sind ausschliesslich geschraubt. Die Querträger sind durch Verlaschung an die Rippen am Hauptträger angeschlossen, der Trogflansch ist direkt mit dem oberen Flansch der unteren Gurtung verschraubt; beide Verbindungen mit HV-Passschrauben. Die minimale Konstruktionshöhe wurde erzielt mit einem Stahltrog, welcher im Abstand von 850 mm durch Querträger gestützt ist (Bild 3).

Da Schienen und Schotter die Achslasten längs verteilen, wird jeder Querträger nur mit einer halben Achslast belastet, so dass deren statische Höhe klein gehalten werden konnte. Die Konstruktionshöhe des Troges allein beträgt nur knapp 600 mm, die gesamte Konstruktionshöhe ab Oberkant Schwelle 1100 mm. Der Kurze Abstand der Querträger erlaubte eine Konstruktion der Trogplatte ohne Längsträger, was zwei wesentliche Vorteile mit sich brachte. Erstens fiel das arbeitsintensive Einpassen der Längsträger in den Querträger weg. Dank den relativ einfach auszuführenden Konstruktionsdetails war trotz grösserer Anzahl Querträger der

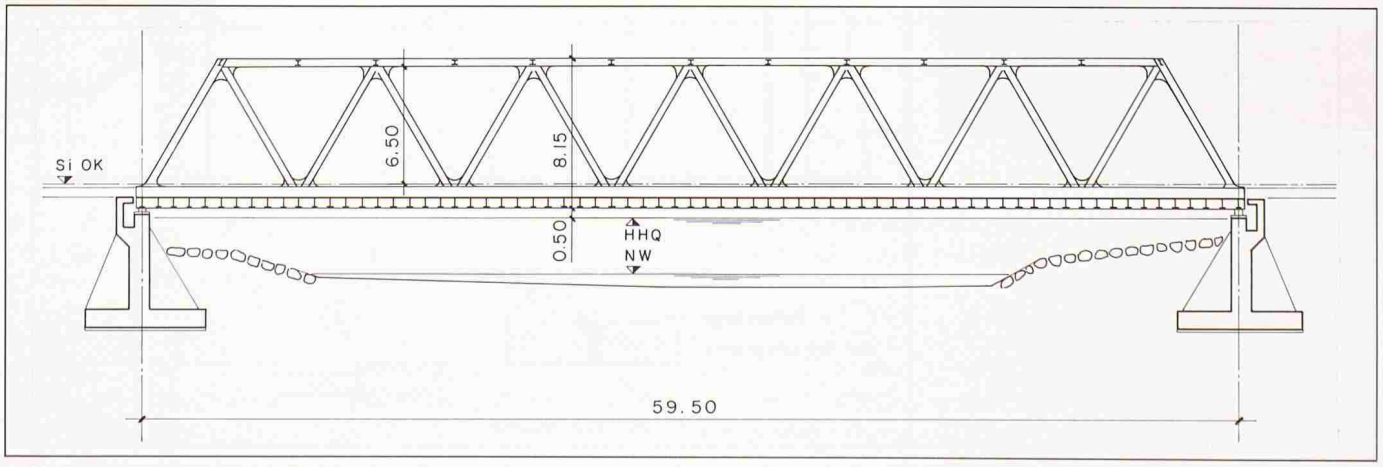

Bild 2. Längsschnitt durch Brücke

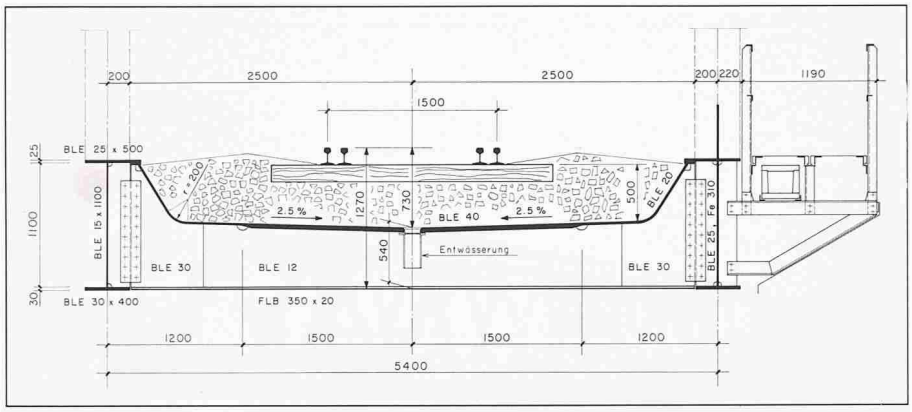

Bild 3. Querschnitt Schottertrog

Aufwand für die Werkstattarbeiten kleiner als beim konventionellen orthotropen Schottertrog. Zweitens konnte der ganze Schottertrog mit Konstruktionsdetails, welche mindestens in die Ermüdungskategorie C gemäss SIA 161 (1979) eingestuft sind, ausgeführt werden. Die aus Ermüdungsgründen heikle Kreuzung Längsträger-Querträger konnte somit auf elegante Weise umgegangen werden.

Die Fahrbahn ist das am stärksten beanspruchte Element einer Bahnbrücke. So wurde die Möglichkeit eines späteren Auswechseln des Troges berücksichtigt, indem alle Anschlüsse zwischen Trog und Haupttragwerk geschraubt sind, was ein Herausnehmen des Troges nach unten erlaubt.

Zuletzt sei noch erwähnt, dass der Schottertrog zusätzlich zwei statische Funktionen zu erfüllen hat. Er bildet zusammen mit dem Untergut des Hauptträgers den unteren Windverband und den Zuggurt des Fachwerkes.

Windverband

Der Trog in Verbindung mit den beidseitigen Gurtungen bildet einen liegenden Träger zur Aufnahme der horizontalen Kräfte quer zur Brücke. Die oberen Gurtungen werden durch ein K-Fachwerk ausgesteift, welches an den Brückenenden durch geschlossene Rahmen elastisch gestützt ist. Diese Rahmen bestehen aus einem verstärkten Endquerträger, den Endstreben als Rahmenstiele und einem geschweissten oberen Riegel.

Knoten des Fachwerkes

Die Knoten des Fachwerkes wurden sehr einfach ausgebildet. Das Knotenblech (t = 25 mm) dient auch als Steg des Untergurtes, so dass die Strebenkräfte klar und eindeutig in den Untergurt eingeleitet werden. Um die für die Ermüdung massgebenden örtlichen Störungen des Kraftflusses zu vermindern, wurden Ausrundungen zwischen den Fachwerkstäben ausgebildet (Bild 4 und 5). Die unübliche Form der Laschen begünstigt das Abfliessen des Regenwassers und verhindert die Schmutzanhäufung. Bei ermüdungsbeanspruchten Bauteilen ist es wichtig, den Schweissvorgang so zu wählen, dass die Eigenspannungen nicht zu ungünstig wirken. Hier wurden zuerst die zwei Hälften des oberen Flansches mit dem Knotenblech geschweisst. Dann wurde die Quernaht des oberen Flansches geschweisst, wobei ungehindertes Schrumpfen gewährleistet war. Mit dieser Naht ist eine saubere Verbindung zwischen dem Knotenblech und dem oberen Flansch gewährleistet. Der Vertikalstoss im Steg wurde zuletzt geschweisst, damit infolge des Schrumpfens der Stegnaht Druckeigenspannungen im Flansch entstehen, was für die Ermüdungsfestigkeit günstig ist.

Endknoten und Auflagerung

Die gedrängte Bauweise führt dazu, dass sich im engen Bereich des Endknotens mehrere Tragfunktionen überlagern. Die wichtigste davon ist die eines Knotens des Hauptträgers. Eine zweite Funktion ist die Einspannung der Enddiagonalen, damit die Kräfte des oberen Windverbandes in die Lager geführt werden können. Da die Lager der Brücke Topflager sind, muss eine konsequente Aussteifung die Lasten gleichmässig verteilen, so dass die zulässigen Spannungen des Neoprens bzw. des Teflons eingehalten werden. Die letzte Bedingung für diesen Knoten ist, dass der Schottertrog durchgehend sein muss. Die Kreuzungen der Bleche wurde so ausgewählt, dass allfällige Aufdoppelungen in den Blechen keine nachteiligen Auswirkungen haben (Bild 6 und 7).

Der Endknoten ist bei weitem der komplizierteste Teil der Brücke und erforderte aufwendige Detailstudien und einen entsprechenden Arbeitsaufwand.

Unterbau

Die Gründung der Widerlager bot keine besonderen Probleme. Der Aushub der Baugruben erfolgte im Schutz von

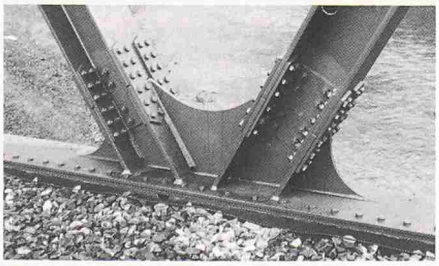

Bild 4. Knotenpunkt Untergurt

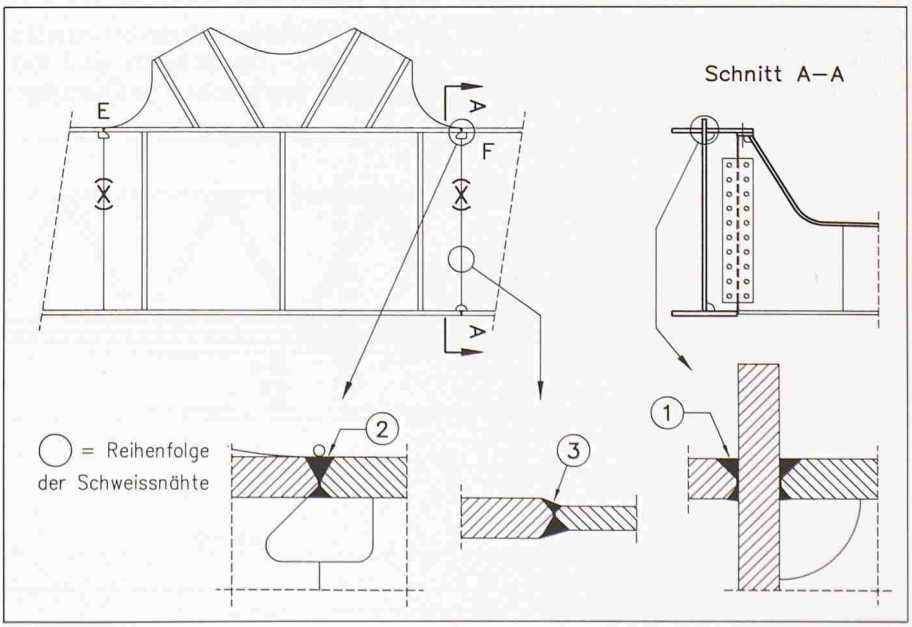

Bild 5. Details zu Knoten am Untergurt

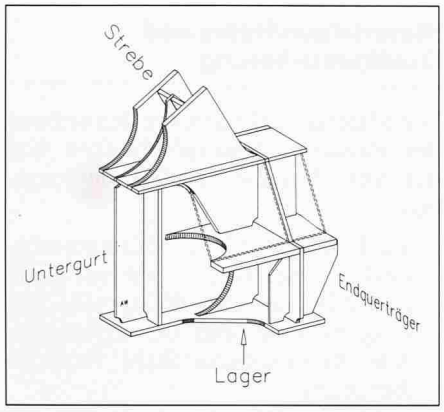

Bild 6. Endknoten am Auflager, Perspektive

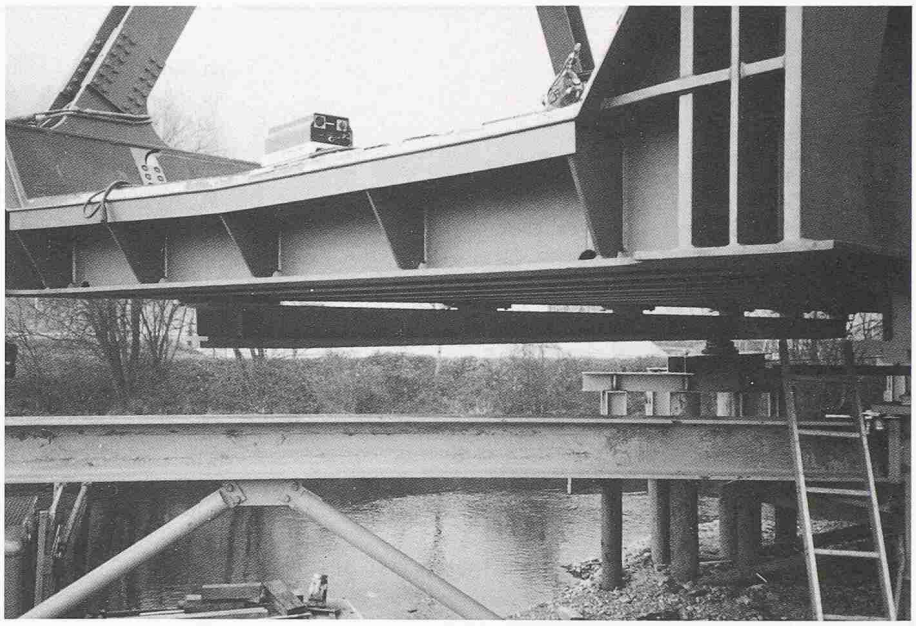

Bild 7. Endquerträger während der Einschubphase

Spundwänden. In etwa 6 m Tiefe konnte auf grobkörnigen Flussablagerungen flach fundiert werden. Bei der 2. Brükke wurden die bestehenden Widerlager in die neue Fundation einbezogen. Der Bau einer Umfahrungslinie für die 1. Brücke bedingte eine Verbreiterung der beidseitigen Bahndämme, womit auch Massnahmen an bestehenden Infrastrukturbauten verbunden waren.

Zur statischen Berechnung

Den Berechnungen sind die neuen SIA-Normen Nr. 160, Ausgabe 1989, für die Belastung und Nr. 161, Ausgabe 1979, für Stahlbauten zugrundegelegt. Bei den Lasten war insbesondere auch das Lastmodell 2 für den Schwertransport zu berücksichtigen, welches sich für die Spannweite von 60 m maximal auswirkt. Die Nachweise sind praktisch 3stufig, jedesmal mit anderen Lastannahmen, für Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Ermüdung zu führen. Die praktische Arbeit wurde erleichtert durch die Anwendung von EDV-Hilfsmitteln. Dabei wurden die Strukturen nach verschiedenen Modellen untersucht: der Hauptträger primär als ebenes Fachwerk, wobei der Schottertrog wegen der kontinuierlichen Passschraubenverbindung mit der unteren Gurtung annähernd 100% mitwirkt. Mit geringfügigen Änderungen bei der Systemeingabe war es möglich, biegesteife und gelenkige Strebenanschlüsse auszuwerten. Die Unterschiede waren in diesem Fall für die praktische Bemessung allerdings kaum von Bedeutung.

Die horizontalen Einwirkungen sowie die lokalen Wirkungen von Einzelachsen (Teilbelastungen) wurden an einem räumlichen Stabtragwerk untersucht. Dazu musste die Fahrbahnplatte durch einen Stabrost entsprechender Steifigkeit abgebildet werden. Das Trogblech selber wurde schliesslich als durchlaufende, orthotrope Platte berechnet.

Bauvorgang

Tiefbauarbeiten

Die Dammschüttungen sowie die Arbeiten für die Verlängerung einer Wegunterführung erfolgten noch im Herbst 1988. Damit sollten zu erwartende Setzungen vorweggenommen werden. Vom Frühjahr bis Sommer 1990 wurden die Widerlager für die erste Brücke (= Umfahrungslinie) erstellt. Zur Trennung von Arbeitsstellen und Betriebsgleisen wurden Schutzwände aufgestellt. Ab Herbst 1990 erfolgte der Zusammenbau der 1. Brücke. Die Vorbereitungen für die Inbetriebnahme wie Beschotterung, Gleisbau, Fahrleitungshalterungen wurden alle noch ausserhalb von Betriebseinschränkungen bewerkstelligt. Während einer 3wöchigen Einspurphase wurden dann in gedrängter Folge die ausser Betrieb gesetzte Brücke abgebrochen, das alte Gleis entfernt, die Schüttungen und das Schotterbett in den Verzweigungsstrekken ergänzt, das neue Gleis und die Fahrleitung verlegt sowie das neue Gleis bei den Brückenköpfen mit einem Schutztunnel eingepackt. Kurz vor Weihnachten 1989 wurde die 1.Brücke in Betrieb genommen. Mit Verschiebung um ein Jahr wiederholten sich die Arbeiten für die 2. Brücke. Der Jahresrhythmus war nicht durch den Arbeitsumfang bedingt, sondern wegen der optimalen Einplanung von Betriebspausen und Einspurbetrieb in den Jahresfahrplan der Bahn.

Bei der zweiten Brücke waren alle Arbeiten in Inselbaustelle zwischen zwei Betriebsgleisen auszuführen. Im Bereich der Brückenköpfe wurden die Arbeitsstellen mit beidseitigen Schutzwänden bzw. Schutztunnels abgesichert. Ausserhalb dieser geschützten Zonen durften Arbeiten in Gleisnähe nur unter Aufsicht einer Bahnwache ausgeführt werden. Zusätzlich wurden auch noch Warnanlagen eingesetzt.

Werkstattarbeiten

Stahlbauten sind vorfabrizierte Bauten. Dies setzt nicht nur eine exakte Fertigung, sondern auch eine präzise und bis ins letzte Detail durchdachte Planung und eine ebensolche Arbeitsvorbereitung voraus. Die Arbeitsvorbereitung beginnt bereits beim Materialeinkauf und bei der Ausführungsplanung, so auch im Falle der Muotabrücken. So war es unter anderem notwendig, den Walztoleranzen der HHD- und HE-Profile spezielle Beachtung zu schenken. Bei Stahlprofilen in diesen Grössenordnungen können die Abweichungen von den Soll-Massen nicht mehr ohne weiteres vernachlässigt werden. Jeder Träger erhielt darum seine spätere Position im Fachwerk zugeordnet. Entsprechend dieser Zuteilung konnte man nachher die zugehörigen Anschlussrippen und Laschen bei der Erstellung der Werkstattpläne individuell behandeln.

Für den Ablauf der Werkstattfertigung war in erster Linie die Passgenauigkeit der einzelnen Montageteile massgebend, waren doch bei einem erheblichen Teil der Montageverbindungen geschraubte Stösse mit HV-Passschrauben vorgeschrieben. Zudem treten beim Schweissen von Konstruktionen immer Materialschrumpfungen auf,

Wichtigste Daten

Länge der Brücke über alles		60,200 m
Spannweite		59,500 m
Systemhöhe des Fachwerkes		7,400 m
Hauptträgerabstand		5,400 m
Bauhöhe OK Schwelle bis UK Konstruktion		1,100 m
Bauhöhe OK Schottentrog bis UK Konstruktion		0,540...0,600 m
Stahlgewichte:	Hauptträger + Verbände 2× 158 t =	316 t
	Schottertrog + Querträger 2× 138 t =	276 t
	Gehsteg	11 t
	Total für 2 Brücken	603 t
Verkehrslasten: massgebend SIA 160/1989, Lastmodell 2, mit Lastfaktor $\gamma_Q = 1{,}2$		q = 150 kN/m
		Mio. Fr.
Kosten:	Grundstück und Rechte	0,34
	Überbau in Stahl	3,57
	Unterbau in Beton	0,70
	Dammbau exkl. Gleisarbeiten	0,93
	Bahnseitige Arbeiten und Lieferungen, inkl. Abbruch alte Brücken	2,38
	Honorare und Nebenkosten	1,23
	Total Erneuerungsprojekt Muotabrücke	9,15

die entsprechende Verformungen der bearbeiteten Werkstücke zur Folge haben.

Diese Umstände bestimmten zu einem grossen Teil die Arbeitsabläufe in der Werkstatt, was zu folgendem Konzept führte:

- Schweissen der Hauptträger
- Zusammenfügen und Schweissen des Trogbleches mit den Querträgern (über einem Negativ entsprechend der Überhöhungskurve)
- Zusammenbau der Trogelemente mit den Hauptträgern, Einpassen und Einschweissen der Rippen für die Steglaschenanschlüsse der Querträger
- Verbohren des oberen Trograndes mit den Flanschen der Hauptträger
- Verbohren der Diagonalen der Vertikalfachwerke mit den Flanschverlängerungen und den Laschen
- Zusammenbau der Vertikalfachwerke und Verschweissen der Flanschverlängerungen mit den Hauptträgern bzw. Obergurten. Vereinfacht gesagt bedeutete dies: zuerst schweissen, dann bohren.

Mit diesem Vorgehen, das in weiten Teilen einer Probemontage gleichkam, war die Passgenauigkeit der einzelnen Montageteile auf der Baustelle praktisch hundertprozentig gewährleistet, was sich im Nachhinein bei der Montage auch bestätigte. Wie üblich bei Bauwerken dieser Dimensionen waren für den Transport zum Korrosionschutzwerk und zur Baustelle Spezialtransporte nötig. Die grössten in der Werkstatt gefertigten Einzelteile waren die Trogelemente. Mit einer Länge von 15,30 m, einer Breite von 5,00 m und einem Gewicht von 38 t konnten sie nur während der Nacht und mit Polizeibegleitung transportiert werden.

Montage

Schon im Projektstadium war dem Montagevorgang der beiden Brücken die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt worden. Es war nämlich von Anfang an vorgesehen, die zwei Brükken auf dem Vorgelände beim Widerlager Seite Schwyz zusammenzubauen und in Längsrichtung einzuschieben. Mit Hilfe eines Portalkrans erfolgten der Ablad der von der Werkstatt angelieferten Bauteile sowie der Zusammenbau beider Brücken.

Wegen der begrenzten Platzverhältnisse konnte der Längsvorschub in Richtung Widerlager Brunnen nur etappenweise erfolgen. Zwei Pfahljoche in der Muota und zwei Betonfundamente an den Uferböschungen dienten als Zwischenabstützungen. Je zwei Wälzlager am Brückenkopf und am jeweiligen Brückenende senkten den Reibungswiderstand auf das erforderliche Minimum. Eine 500-kN-Hydraulikpresse mit einem Hub von 80 cm genügte, um die beiden je 296 t schweren Brückenkonstruktionen über die Muota zu schieben (Bild 7).

Während der Bahnverkehr die Montage der ersten Brücke kaum beeinträchtigte, mussten die Monteure beim Zusammensetzen der zweiten Brücke doch einige Behinderungen in Kauf nehmen. Zwischen den beiden Betriebsgleisen waren die Platzverhältnisse sehr eingeengt, und der Bahnverkehr auf der Gotthardstrecke lief voll nach Fahrplan.

Materialqualitäten und Qualitätssicherung

Die Materialqualitäten wurden anhand der statischen Beanspruchungen und der Anforderungen im Betrieb festgelegt:

- Stahl Fritenar 355, thermomechanisch gewalzt, entsprechend Fe 510 D, für alle Walzprofile der Diagonalstäbe und der Obergurte. Alle Knotenbleche Stahl Fe 510 D (beruhigt).
- Stahl Fe 360 D (beruhigt) für das Trogblech, die Querträger und den Untergurt.

Die laufende Produktion wurde im Werk mit lückenlosen Werksattesten überwacht, und zwar mit folgenden Prüfungen: Zugsversuch, Kerbschlagversuch bei −20 °C, chemische Zusammensetzung (C, Si, Mn, P, S, Al) und Ultraschallprüfung. Bei der Trennung der Bleche in die Einzelteile musste jedes Werkstück mit dem Stempel des Werksattestes geprägt werden. Die Abnahmezeugnisse mussten vom Lieferanten nach den Vorschriften der Norm DIN 50049-31B beigebracht werden.

Korrosionsschutz

Das Sandstrahlen und Aufbringen der Anstriche erfolgte soweit als möglich im Korrosionsschutzwerk selber bzw. bei den Trogelementen in einem Zelt auf dem Werksgelände des Stahlbauunternehmers. Wichtig war, dass diese Arbeiten in einer geschlossenen Halle mit mehr oder weniger kontrollierter Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit ausgeführt werden konnten. Auf der Baustelle verblieben somit lediglich noch das Ausbessern der Transport- und Montageschäden, das Anstreichen der Schrauben sowie der Korrosionsschutz in den Bereichen der Montageschweissungen.

Der Aufbau des Korrosionsschutzes variiert je nach Beanspruchung und Lage der verschiedenen Bauteile:

Fachwerkkonstruktionen (Gesamtschichtdicke mind. 220 µm):

- Sandstrahlen aller Flächen mit Elektro-Korrund bis zum Reinheitsgrad SA 2½
- 2× Aufbringen von 2-komp. Epoxidharz-Zinkstaubfarbe, Schichtdicke 100 µm
- 1× Aufbringen von 2-komp. Epoxidharz-Eisenglimmer-Zwischenanstrich, Schichtdicke 60 µm
- 1× Aufbringen von 2-komp. Polyurethan-Eisenglimmer-Deckanstrich, Schichtdicke 60 µm.

Schotterberührte Flächen der Fahrbahntröge, horizontale Trogbleche:

- Sandstrahlen aller Flächen bis zum Reinheitsgrad SA 3
- 1. Voranstrich mit Epoxidharz, abgestreut mit Quarzsand
- 2. Voranstrich mit Epoxidharz
- Aufspachteln von 5 mm Grobmörtel.

Schotterberührte Flächen des Fahrbahntroges, schräge Trogbleche:

- Sandstrahlen aller Flächen bis zum Reinheitsgrad SA 3
- Voranstrich mit Epoxidharz, abgestreut mit Quarzsand, erste Schicht Feinmörtel (1,5 mm) aufspachteln und abstreuen mit Quarzsand
- zweite Schicht Feinmörtel (1,5 mm) aufspachteln.

Abbruch der zwei alten Stahlfachwerkbrücken

Ein wichtiger Bestandteil des ganzen Brückenumbaus war der Abbruch der zwei alten Stahlfachwerkbrücken. Es sind genietete Fachwerke mit einem Stahlgewicht von 190 t bzw. 220 t. Der Abbruch erfolgte durch die SBB-eigenen Spezialisten vom Brückendienst Goldau mit Hilfe der grossen Schienenkrane. Die Spezialmonteure der Brükkenrotte Kreis II haben eine reiche Erfahrung für Brückenabbrüche. In den vergangenen 40 Jahren haben Sie doch über 10 der alten grossen Fachwerk-Brücken am Gotthard entfernt.

Es wurde folgendes *Vorgehen* gewählt: Erstellen von 4 Fundamenten im Flussbett, Stellen von 4 Hilfsjochen mit Rückverankerungen. Mit je einem 25-t-Schienenkran von Seite Schwyz und Seite Brunnen wurden die Brücken von der Mitte her abgebrochen. Die Krane haben eine Auslegerlänge von 21 m, rund 15 m vor Puffer, bei einer Tragkraft von 13 t. Mit dieser Last kann beliebig weit zurückgefahren werden. Die ausgebauten Teile wurden längs dem Gleis zwischengelagert und anschliessend transportgerecht auf Eisenbahnwagen verladen.

Der Ausbau erfolgte in folgender *Reihenfolge,* beginnend in Brückenmitte: obere Horizontale und Windverbände, Gleisrost, Fahrbahnkonstruktion, Obergurte der Hauptträger mit Stücklänge L = 14 m, Mittelteile, Pfosten und Diagonale der Wände, Untergurte der Hauptträger. Im gleichen Vorgang wird die Konstruktion gegen die Brükkenenden hin ausgebaut. Die Trennschnitte wurden mit Autogen-Schweissbrennern und teils mit Lanzenbrennstäben ausgeführt. Wegen den Gasen vom alten Bleimennige-Anstrich wurden beim Abbrennen Schutzmasken getragen. Die Brücken wurden je innert 6 Arbeitstagen abgebrochen, und sämtliches Material wurde auf Eisenbahnwagen verladen und spediert.

Interessanterweise wurden in den alten Brücken trotz über 100jähriger Nutzungsdauer auf der Gotthardstrecke keine Ermüdungsrisse gefunden.

Belastungsproben

Am 17. März 1990 wurde die erste der zwei neu erstellten Brücken mit 2 Lokomotiven Ae 6/6 von 240 t Totalgewicht bei Geschwindigkeiten von 0 bis 120 km/h einer Belastungsprobe unterworfen.

Das Tragverhalten entspricht den Erwartungen. Die tatsächlichen Durchbiegungen betragen 96% der berechneten Werte. Die Verformungen der Bauwerke sind reversibel. Die Messungen zeigten, dass der Trog voll mit den Hauptträger zusammenwirkt. Durch die Steifigkeit der Schienen verteilt sich eine Achslast auf eine grössere Länge, so dass ein Querträger nur noch mit maximal einer halben Achslad beansprucht wird. Da die Bemessung aber für Achsgruppen erfolgen muss, können diese durch eine gleichmässig verteilte Last ersetzt werden. Die Spannweite der Querträger entspricht dem Hauptträgerabstand, die mitwirkende Trogbreite für den Querträgerquerschnitt ist gleich dem Querträgerabstand von 85 cm. Das Verhalten der beidseitigen Ausrundungen des Trogbleches entspricht dem Berechnungsmodell und wird somit keine Ermüdungsprobleme verursachen.

Am Bau Beteiligte:

Bauherr:
Schweizerische Bundesbahnen, Hauptabteilung Bau, Kreis II, 6002 Luzern

Oberbauleitung:
Schweizerische Bundesbahnen, Hauptabteilung Bau, Kreis II, Ingenieurbau, 6002 Luzern

Konzeption der Stahlkonstruktion und Belastungsproben:
Schweizerische Bundesbahnen, Baudirektion, 3030 Bern

Projekt und Bauleitung:
Franz Pfister + Partner AG, dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC, Bahnhofstrasse 53, 6430 Schwyz

Prüfingenieur:
Prof. Dr. P. Dubas, ETHZ, Hönggerberg-Zürich

Hauptunternehmen Stahlbau:
ARGE Meto Bau AG, 5303 Würenlingen, und Schneider Stahl- und Kesselbau AG, 8645 Jona

Gehsteg:
Paul Weber AG, Eisenbau, 6423 Seewen

Korrosionsschutz:
Zuberbühler AG, Korrosionsschutz-Unternehmung, 8808 Pfäffikon SZ

Tiefbau:
ARGE Martin Bolfing AG, 6430 Schwyz, und A. Aufdermaur's Söhne AG, 6438 Ibach SZ

Die dynamischen Beiwerte nach UIC-Merkblatt 776-1 sind für die Hauptträger zutreffend. Beim Trogblech ergaben sich hingegen viel kleinere Werte als für die Spannweite von 85 cm berechnet wurden.

Adresse der Verfasser: *Heinz Allemann,* dipl. Ing. ETH/SIA, und *Franz Pfister,* dipl. Ing. ETH/SIA, c/o Franz Pfister + Partner AG, Beratende Ingenieure ETH/SIA/ASIC, 6430 Schwyz; *Heiner Furrer,* dipl. Ing. ETH/SIA, c/o SBB Hauptabteilung Bau Kreis II, 6002 Luzern; *Fridolin Müller,* Bauing. HTL, c/o Meto Bau AG, 5303 Würenlingen; *Jean-Jacques Reber,* dipl. Ing. ETH, c/o SBB Baudirektion, 3030 Bern; und *Max Schneider,* dipl. Ing. ETH, c/o Schneider AG, 8645 Jona.