Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 12

Artikel: Neubau der SBB-Brücke über die Moesa
Autor: Spataro, Raoul / Wiederkehr, Leo
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79216

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

Raoul Spataro, Bellinzona, und Leo Wiederkehr, Luzern

Neubau der SBB-Brücke über die Moesa

Auf der Strecke Arbedo/Castione–Bellinzona überquert die Gotthardlinie der SBB die Moesa auf zwei in den Jahren 1896 und 1939 erbauten Einspurbrücken. Die ältere Stahlfachwerkbrücke musste infolge der für heutige Verhältnisse ungenügenden Tragfähigkeit ersetzt werden. Die neue 89,3 m lange dreifeldrige Brücke in Verbundbauweise wurde auf provisorischen Abstützungen gebaut und nach dem Abbruch der bestehenden Fachwerkbrücke quer eingeschoben.

Am südlichen Ende der Bahnhofsanlagen von Arbedo/Castione überquert die Gotthardlinie auf zwei einspurigen Stahlbrücken die Moesa unmittelbar vor deren Einmündung in den Ticino. Der Überbau der oberwasserseitigen Brücke besteht aus einem offenen Stahlfachwerk aus dem Jahre 1896, die unterwasserseitige Brücke aus Vollwand-Längsträgern aus dem Jahre 1939. Unterwasserseitig verläuft parallel eine Rohrbrücke neueren Datums.

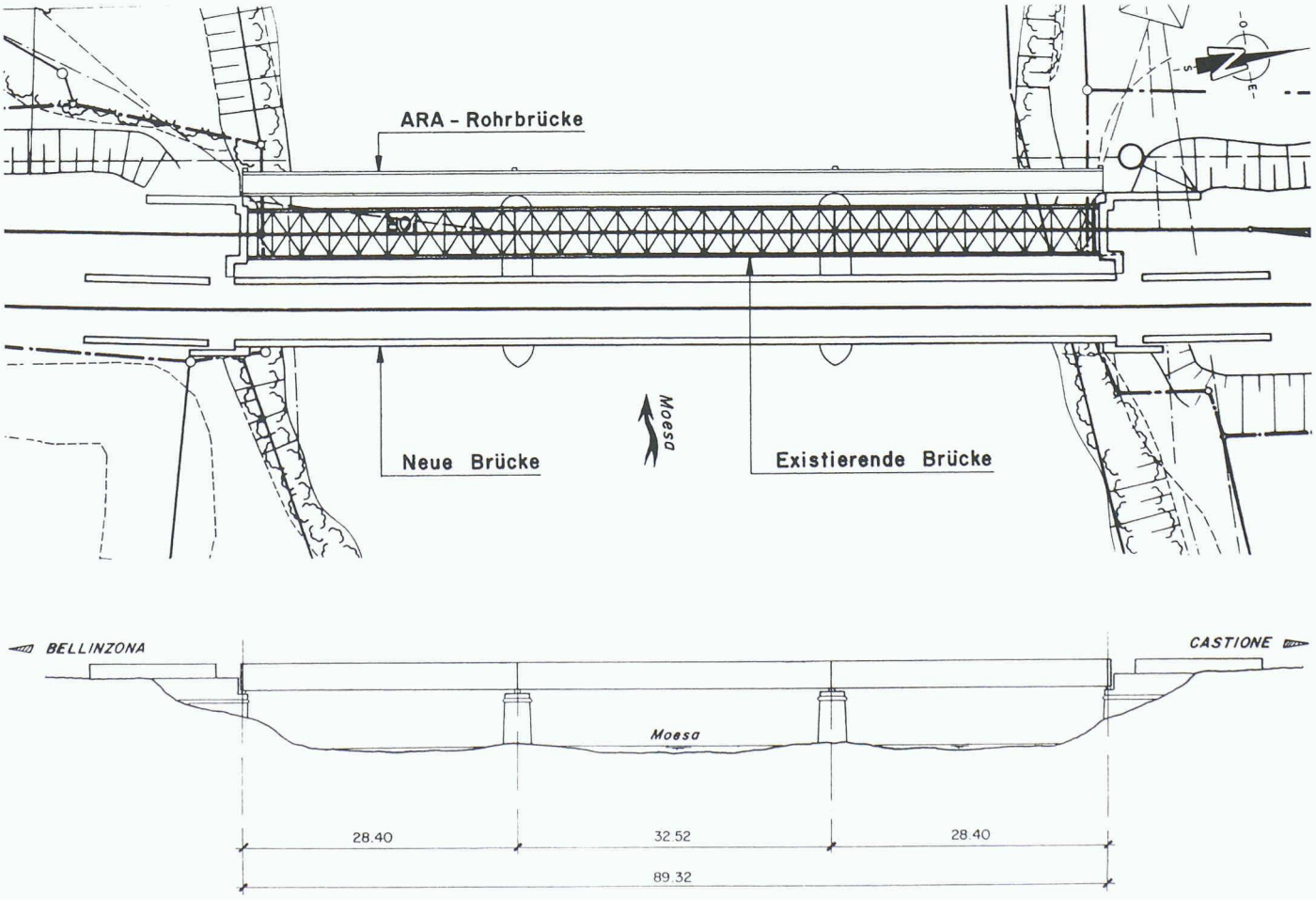
Der Zustand der älteren Brücke erforderte seit längerem eine intensive Überwachung. Die ständige Überbelastung führte zu irreversiblen Verformungen und Rissen sowie zu Schäden an den genieteten Verbindungen. Im Zuge des Ausbaus der Gotthardstrecke auf die Streckenklasse D4 (Radsatzlast 22,5 t, zulässige Meterlast 8,0 t/m) wurde ihr Ersatz aufgrund der ungenügenden Traglast notwendig.

Die Widerlager und die zwei Pfeiler wurden aus Natursteinquadern 1874 erstellt und 1896 oberwasserseitig verbreitert. Detaillierte Untersuchungen des bestehenden Unterbaus bescheinigten deren guten baulichen Zustand. Als schlecht wurden die geringe Einbindetiefe sowie die Schrägstellung der Pfeiler zur Fliessrichtung der Moesa und die daraus resultierende Kolkgefahr beurteilt.

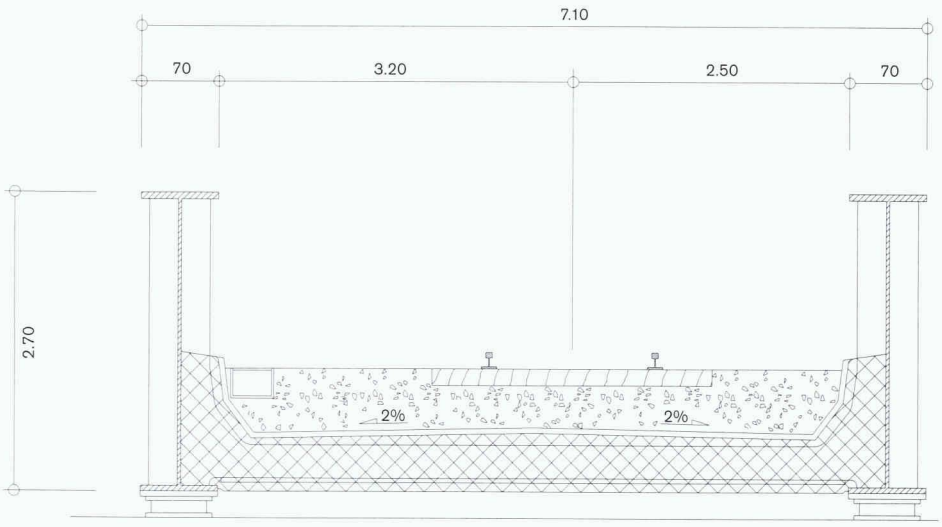
Der beim südlichen Widerlager durchführende Wanderweg Flensburg-Genua ist von europäischer Bedeutung und musste während der gesamten Bauzeit unbehindert begehbar sein. Das zu ersetzende Bauwerk befand sich ferner im Inventar der historischen Bauten. Die neuen Bauteile waren daher optisch den bestehenden anzugleichen.

Im Bereich der Baustelle befindet sich eine eiszeitliche Nekropole, die durch Aushubarbeiten nicht tangiert werden durfte. Im weiteren durfte die Moesa nur von Ende Oktober bis Ende Mai umgeleitet werden, um die Vermehrungsphase der wichtigsten Fischarten nicht zu gefährden. Die übrigen Arbeiten mussten im trockenen Flussbett ausgeführt werden. Ebenfalls galt es, die strengen Vorschriften in bezug auf den Lärmschutz zu erfüllen.

Weitere einschneidende Rahmenbedingungen waren durch die Fernsteuerung der Station Castione gegeben. Die Gleislage durfte im Bahnhofbereich nicht verändert werden, da die Sicherungs-, Steue-



1
Grundriss (oben) und Ansicht (unten)



2
Querschnitt

rungs- und Kabelanlagen Folgekosten immenser Höhe bedingt hätten. Ebenso war die Einschränkung des Bahnbetriebs auf das absolute Minimum zu beschränken.

Geologie und Wasserverhältnisse

Die Brücken über die Moesa befinden sich bei der Mündung des Misoxertals in das Tessintal und somit in einem Bereich von mächtigen spät- bis nacheiszeitlichen Lockergesteinsablagerungen. Der in den Flanken des Tessintals aufgeschlossene kristalline Felsuntergrund liegt in mehreren hundert Metern Tiefe. Das geologische Profil zeigt vorwiegend Kies und Sand mit Steinen und Blöcken, etwas sandigen Silt und im Bereich der Baugruben Auffüllungen.

Die Analyse der Abflussmengen der Moesa zeigt die für das Tessin typischen kurzzeitigen Wasserspiegelvariationen. Die mittlere Abflussmenge beträgt nur 22 m^3/s, das hundertjährige Hochwasser jedoch 1000 m^3/s. Die maximale Wasserspiegelhöhe wird allerdings durch den Rückstau des Tessin bestimmt und liegt gerade 10 cm unter Brückenunterkante.

Studienwettbewerb

Um die verschiedensten Interessen und Randbedingungen zu berücksichtigen und einen möglichst breiten Variantenfächer zu erhalten, beschloss die Bauherrschaft, fünf Ingenieurbüros zu einem Studienwettbewerb einzuladen. Der Auftrag umfasste den Ersatz der Fachwerkbrücke unter Berücksichtigung der erwähnten Rahmenbedingungen. Der spätere Ersatz der Vollwandträgerbrücke sollte ebenfalls aufgezeigt werden.

Die eingereichten Projekte waren von hoher Qualität und zeigten interessante Varianten auf:

- Beton-Bogenbrücke mit einer Spannweite von 79 m
- Ersatz beider Brücken durch zwei Beton-Trogbrücken mit neuem Unterbau
- Beton-Trogbrücke mit verstärktem Unterbau
- Trogbrücke im Verbund, Längsträger aus Stahl, Fahrbahn aus Beton, mit verstärktem Unterbau

Nach Gegenüberstellung der Varianten fiel der Entscheid zugunsten der Verbundkonstruktion aus. Ihre Vorteile lagen in der äusserst kurzen Bauzeit mit geringsten Einschränkungen des Bahnbetriebs und minimalem Hochwasserrisiko. Im weiteren überzeugte das Projekt durch Einfachheit, Ausführbarkeit und Wirtschaftlichkeit.

Brückenkonzept

Tragsystem und Lagerung

Der Brückenüberbau ist als durchlaufende Stahlverbundbrücke konzipiert. Die Brücke ist in Längsrichtung auf dem Pfeiler Nord fixiert, um auf kostenintensive Schienendilatationen verzichten zu können. Die Aufnahme der Horizontalkräfte im Pfeiler Nord, insbesondere aus Brems- und Anfahrlasten, können gewährleistet werden. Die Lager bestehen aus Neotopfgleitlagern und sind direkt mit den Längsträgern verbunden. Um eine ganzflächige Einleitung der Lagerkräfte zu erreichen, wurde der Lagersitz der Längsträger plangefräst. Die Lager wurden zur Aufnahme der Horizontalkräfte beim Quervorschub bemessen. Die im Endzustand in Querrichtung frei beweglichen Lager wurden provisorisch für den Bauzustand fixiert.

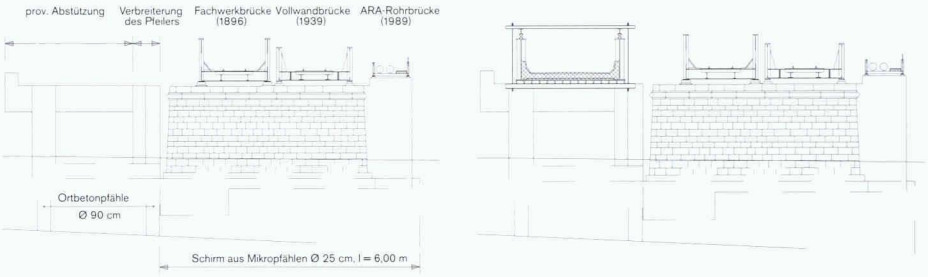
Fundation

Unter Berücksichtigung der erhöhten Beanspruchungen durch das grössere Eigengewicht der neuen Brücke und durch die Horizontalkräfte aus Bahnlasten weisen die bestehenden Fundamente dank ihrer grosszügigen Abmessungen und der hohen Tragfähigkeit des Baugrunds eine genügende Tragsicherheit auf. Aufgrund der ungenügenden Einbindetiefe mussten die Fundamente der im Fluss stehenden Pfeiler vor der Gefahr einer seitlichen Frei- oder Unterspülung geschützt werden. Nach Beurteilung verschiedener Varianten wurde eine Einfassung der gesamten Fundamentkörper mit einem Micropfahl-Schirm gewählt. Für diese Wahl waren die beschränkte Arbeitshöhe unter der Brücke sowie die kurze Ausführungszeit ausschlaggebend. Die Micropfähle wurden mit Strumpf ausgeführt, um eine Verschmutzung des Wassers bei den Injektionen auszuschliessen.

Wegen des breiteren Brückenquerschnitts und der neuen Gleisgeometrie, die den notwendigen Platzbedarf für den zukünftigen Ersatz der anderen Brücke bereits berücksichtigt, musste der Unterbau oberwasserseitig um 3,30 m verbreitert werden. Ebenfalls oberwasserseitig wurden die provisorischen Joche zur Abstützung der neuen Brücke hergestellt. Um unerwünschte Setzungsunterschiede zwischen den alten und den neuen Teilen der Pfeiler und Widerlager zu vermeiden, wurden die neuen Fundamente auf vier Ortbetonpfählen (d = 90 cm) pro Auflager tiefgegründet. Nach Abbruch der bestehenden Brücke wurde das Pfahlbankett an die bestehende Fundation angeschlossen.

Unterbau

Die neuen Pfeiler- und Widerlagerteile wurden konventionell hergestellt und nach dem Abbruch der bestehenden Brücke mit den bestehenden Pfeiler- und Widerlagern verbunden. Die provisorischen Abstützungen wurden anschliessend an die neuen Pfeiler- und Widerlagerteile angebaut, und die sichtbaren Teile erst nach dem Querverschub abgebrochen. Die Bohrpfähle mit Bankett verbleiben für den späteren Ersatz der anderen Brücke im Boden. Um eine möglichst gleichmässige Einleitung der Auflagerkräfte ins bestehende Mauerwerk zu erzielen, wurden die obersten Teile der alten Pfeiler und Widerlager duch ein durchgehendes Betonbankett ersetzt. Die neuen Pfeiler- und Widerlagerteile wurden in denselben Abmessungen ausgeführt und wie die bestehenden mit Natursteinen verkleidet. Damit wurde die Forderung eines einheitlichen Erscheinungsbilds, als Bestandteil der PGV-Auflagen, erfüllt.



3
Bauetappen. 1: Fundationen, provisorische Abstützungen, Micropfähle, 2: Montage der Stahlstruktur, Betonieren der Fahrbahnplatte, 3: Demontage der alten Brücke, Abbruch der alten Pfeiler und Widerlager, Verbindungen mit den neuen Teilen, Querverschub, 4: Entfernung der provisorischen Abstützungen, Natursteinverkleidung

Überbau

Die Brücke ist als Trogbrücke ausgebildet. Die zwei Längsträger aus Stahl mit einer Höhe von 2,70 m sind mit der untenliegenden Betonplatte von einer Dicke bis 0,53 m ausgesteift. Die Gesamtbreite beträgt 7,10 m.

Die Haupttragelemente, geschweisste Blechträger aus Fe E 235, weisen eine asymmetrische Materialverteilung auf. Die Höhe der Längsträger sowie die Ober- und Untergurte weisen auf der gesamten Länge identische Abmessungen auf. Dank der untenliegenden Betonplatte, die bei Längsbiegung nur zur Aufnahme der negativen Stützenmomente dient, können die zulässigen Spannungsdifferenzen im Stahlquerschnitt beim massgebenden Nachweis der Ermüdungssicherheit sowohl im Feld als auch über der Stütze voll ausgenützt werden. Bei einer Abstufung des Längsträgerquerschnitts hätten deshalb nur marginale Materialeinsparungen, jedoch ein höherer Herstellungsaufwand resultiert. Die Dicke des Stegblechs hingegen wurde entsprechend der Querkraft abgestuft.

Die Fahrbahnplatte besteht aus bewehrtem Beton und einbetonierten Stahlquerträgern, die biegesteif mit den Längsträgern verschweisst sind. Daraus resultiert eine äusserst dünne Fahrbahnplatte, die ein Schotterbett zulässt, ohne dass sich die Gleishöhe und das Durchflussprofil der Moesa veränderten. Die hohen Folgekosten für die Anpassung der Gleisanlagen im Bereich des Bahnhofs Castione konnten damit vermieden und die Lärmemissionen erheblich reduziert werden.

Anprallschutz

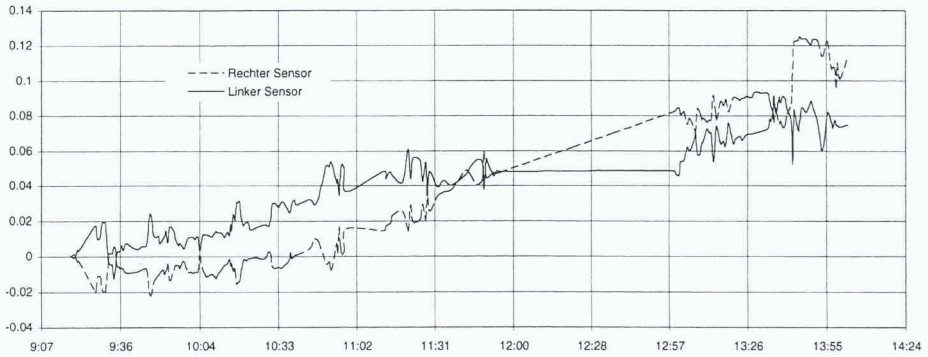
Gemäss Richtlinie des Bundesamts für Verkehr «Bauten an, über und unter der Bahn» sind die Tragelemente, die über die Schienen ragen, vor Anprall zu schützen. Die aufzunehmenden Horizontalkräfte wurden mit $Q_{acc,1} = 5$ MN und $Q_{acc,2} = 2$ MN festgelegt. Im weiteren wurde die Verwendung permanenter Anker untersagt.

Die bestehenden Widerlager konnten die Horizontalkräfte nicht aufnehmen, was freistehende Schutzbauwerke bedingte. Sie verlaufen parallel zum Gleis und bestehen aus Betonwänden, die mit einer Betonplatte verbunden sind. Die Einleitung der Horizontalkräfte in den Baugrund erfolgt über eine Reihe von Micropfählen, die im Fall eines Anpralls durch eine Betonschürze an der Betonplatte aktiviert werden. Die in den Boden abgeleiteten Kräfte können sich in genügender Distanz von den Widerlagern ausbreiten, ohne diese zu beschädigen.

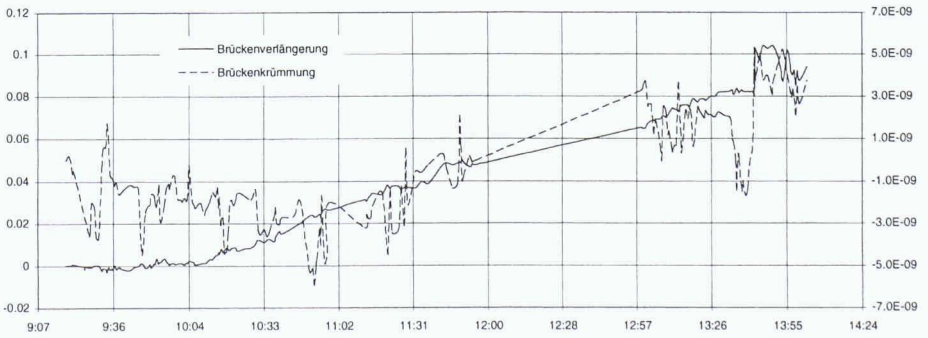
Bauvorgang und Ausführung

Für Bahnbauten sind meistens die bahnbetrieblichen Einschränkungen massgebend. Auch hier musste der Ersatz der Moesabrücke mit anderen Bauten koordiniert werden. Zeitgleich fanden die Bauarbeiten an der Morobbiabrücke und am Svitotunnel statt, was den möglichen Unterbruch des Bahnbetriebs auf ein maximales Einspurintervall von sechs Wochen beschränkte. Aufgrund der PGV-Auflagen mussten die Arbeiten im Fluss vor Ende Oktober ausgeführt sein.

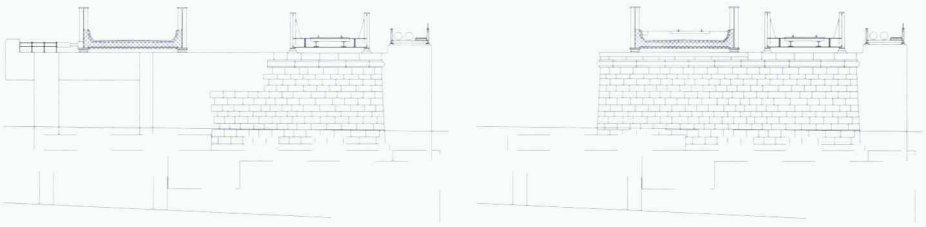
Die Bauarbeiten der 1. Bauphase begannen Mitte Oktober 1995 mit dem Erstellen des Bohrplanums in der Moesa. Anschliessend folgten die Arbeiten an den Bohr- und Micropfählen im Fluss, den Pfahlbanketten, den Abstützungsjochen und den Auflagerverbreiterungen. Vor Weihnachten waren die Abstützjoche und ein Teil der Verschubbahn fertiggestellt.



4
Verlängerung bzw. Verkürzung [mm] der Glasfasersensoren beim Querverschub. Auf der Abszisse die Uhrzeit



5
Verlängerung [mm] der Brücke auf einer Länge von 2 m (linke Ordinate) und Krümmung [1/mm] beim Nordpfeiler (rechte Ordinate). Auf der Abszisse die Uhrzeit



Der Abschluss der Micropfahlschirme war auf Ende März 1996 terminiert.

Im Dezember 1995 wurden, als Beginn der 2. Bauphase, die vorgefertigten Längsträger in zehn Teilen mit einer Länge bis 22,42 m zum Installationsplatz transportiert und dort zu sechs Teilen zusammengeschweisst, womit jeder Längsträger noch aus drei Teilen bestand, so dass keine Zwischenabstützung bei der Montage notwendig war. Am 10. Januar konnte mit der Montage der Träger begonnen werden. Die bis zu 42 t schweren Trägerteile wurden mit einem Tieflader über die eigens erstellte Piste zur Baustelle gebracht. Ein selbstfahrender Raupenkran mit einer Tragkraft von 200 t versetzte die jeweils zugeführten Trägerteile mit den definitiven Lagern auf die Abstützjoche. Von diesem Zeitpunkt an waren die Arbeiten dem Hochwasserrisiko entzogen. Mittels eines an den Trägern befestigten Gerüsts wurden zuerst die Längs-, dann die Querträger verschweisst. Die Schweissarbeiten erfolgten so, dass nach Fertigstellen des zweiten Feldes mit dem Betonieren der Fahrbahnplatte in sechs Etappen begonnen werden konnte.

Um die ungünstigen klimatischen Verhältnisse der Winterperiode zu bewältigen und eine optimale Betonqualität zu erreichen, wurde die Mindesttemperatur für das Betonieren und Nachbehandeln auf 15 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70% festgelegt. Diese vorgegebenen Werte konnten mit einem abgedeckten Schalwagen, dessen Inneres geheizt wurde, erreicht werden.

Die dritte Bauphase begann mit der einspurigen Sperrung der Gotthardstrecke am 15. April 1996. Als erstes wurde die bestehende Fachwerkbrücke abgebrochen. Die Abbrucharbeiten mussten äusserst sorgfältig ausgeführt werden, da das Nachbargleis unter Betrieb war und auf der anderen Seite bereits die neue Brücke behinderte. Vom Mittelfeld aus wurde zuerst der Fachwerkträger abgetrennt, dann der Gleisrost entfernt.

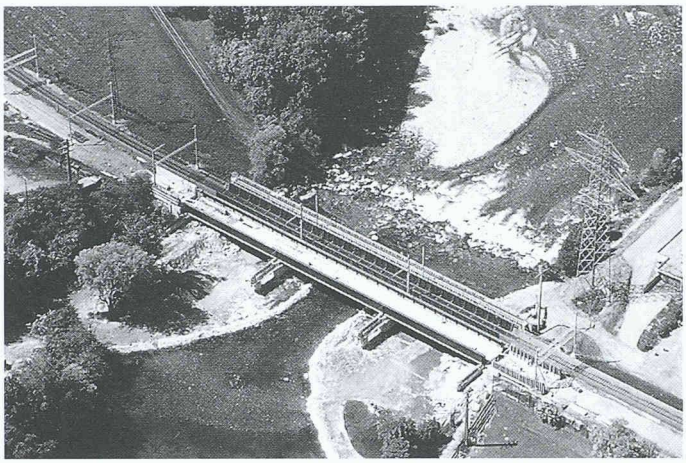
Danach wurden die bestehenden Widerlager und Pfeiler teilweise abgebrochen, die Pfahlbankette bis an die bestehenden Fundamente gezogen und die neuen Widerlager- und Pfeilerteile miteinander verbunden. Anschliessend konnte die Verschubbahn fertiggestellt werden.

Am 15. Mai wurde die Brücke an ihren devinitiven Standort querverschoben. Anschliessend wurden der Schotter aufgebracht und die Gleise, Kabelanlagen und Fahrleitungen verlegt. Die neue Brücke konnte termingerecht, nur gerade knapp acht Monate nach Baubeginn, dem Verkehr übergeben werden.

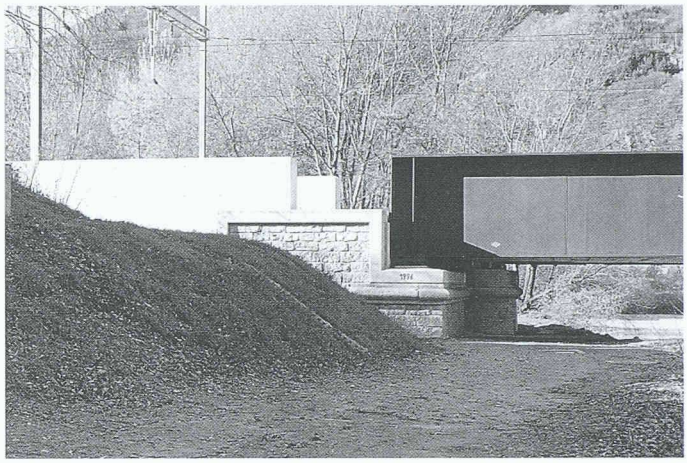
6
Bauaufnahme

Querverschub

Um die 12 000 kN schwere Brücke um 7,40 m in ihre definitive Lage zu verschieben, wurden auf beiden Pfeilern und Widerlagern je eine Presse installiert. Da die Brücke mit den definitiven Lagern verschoben wurde, mussten die in Querrichtung frei beweglichen Lager mit provisorischen Blockierleisten fixiert werden. Die Verschubbahnplatten aus Stahl wurden auf die provisorischen Abstützjoche und das neu erstellte Auflagerbankett versetzt und untergossen. Nach dem Erreichen der Endposition wurde ein spezieller Topfring auf jedes Lager abgesenkt und mit deren unterer Ankerplatte verschweisst. Die effektive Verschubzeit betrug 4,3 Stunden, was einem mittleren Verschubweg von 1,57 m pro Stunde entspricht. Die notwendigen mittleren Pressenkräfte betrugen 360 kN bei den Pfeilern und 90 kN bei den Widerlagern, woraus sich eine mittlere Gleitreibung von 7% ergibt.



7
Flugaufnahme der Baustelle kurz nach dem Verschub (Bild: Corriere del Ticino)



8
Detailansicht der neuen Brücke

Spezielle Messungen am Objekt

Im Rahmen des Forschungsprojekts CERS (Commission pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique) und in Zusammenarbeit mit dem Istituto Meccanico dei Materiali SA in Grancia sowie mit dem IMAC (Institut de Mesure et Analyse des Contraintes) der ETH Lausanne wurde in der Fahrbahnplatte ein Messsystem mit 30 Glasfasersensoren eingebaut. Damit konnten das Schwinden des Betons sowie die Verformungen der Fahrbahnetappen unter Einfluss der Folgeetappen gemessen werden. Zudem wurde die horizontale Biegung beim Querverschub bei einem Pfeiler infolge des ungleichmässigen Verschubwegs gemessen. Bild 4 zeigt die Resultate der Messungen während des Querverschubs mittels zwei 2 m langen Glasfasersensoren, die links und rechts in einem Abstand von 5,3 m an der Unterseite der Fahrbahnplatte installiert waren. Es ist zu erkennen, wie bei jedem Pressenhub von 80 cm die Verlängerung des einen Sensors der Verkürzung des anderen entspricht. Ausserdem zeigen beide Kurven eine kontinuierliche Zunahme der Verlängerung und der Krümmung, die auf die Erwärmung der Lufttemperatur um 5 °C während des Verschubs zurückzuführen ist. Während der Mittagspause verlängerte sich die Brücke infolge ungleichmässiger Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung auf der linken Seite deutlich stärker als die rechte Seite. Die daraus resultierende Zunahme der Krümmung ist Bild 5 zu entnehmen. Die maximale Brückenkrümmung betrug etwa $5 \cdot 10^{-9}\,mm^{-1}$, was einem Biegemoment von 6850 kNm entspricht und eine maximale Spannung in den Längsträgern von lediglich 5 N/mm² bewirkte.

Am Bau Beteiligte

Bauherrschaft:
Schweizerische Bundesbahnen SBB, Hauptabteilung Bau Kreis II, Luzern

Projektleitung und Oberbauleitung:
SBB, Hauptabteilung Bau, Ib-BTS, Luzern

Projektierung und örtliche Bauleitung:
Ingenieurbüro Passera & Pedretti SA, Bellinzona

Bauunternehmung Los 1:
Mancini & Marti SA, Bellinzona

Stahlbau Los 2:
ARGE Ferriere Cattaneo SA, Giubiasco und Officine Ghidoni SA, Riazzino

Bauunternehmung Los 3:
ARGE G. Bianchi SA, Lugano, und LGV SA, Bellinzona

Baukosten

Die gesamten Baukosten beliefen sich auf 5,4 Mio. Franken, wovon 2,08 Mio. auf bahneigene Leistungen wie Abbruch, Verschub und Bahninfrastruktur sowie auf Honorare entfielen. Die reinen Baukosten betrugen damit Fr. 39 774.- pro Meter Brückenlänge, bzw. Fr. 5602.- pro m² Brückenfläche.

Die Kosten für den eigentlichen Überbau betrugen Fr. 1 422 000.-, Fr. 15 920.- pro Meter Brückenlänge bzw. Fr. 2240.- pro m² Brückenfläche und entsprechen damit 40% der reinen Baukosten bzw. 27% der Gesamtbaukosten.

Abschliessende Bemerkungen

Der Ersatz einer Bahnbrücke erfordert vom projektierenden Ingenieur nicht nur die Berücksichtigung der üblichen Aspekte wie Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Ästhetik, Ausführungstechnik und Wirtschaftlichkeit, sondern auch die besonderen Aspekte des Bahnbetriebs, der Sicherheit und die Koordination der verschiedenen SBB-Fachdienstarbeiten wie Kabelprovisorien, Anpassung von Fahrleitungen, Gleiskorrekturen, Anpassung der Sicherungsanlagen und Abbrüchen von Bahnanlagen.

Adresse der Verfasser:
Raoul Spataro, dipl. Bauing. ETH, Passera & Pedretti SA, Via Molo 21, 6500 Bellinzona, und *Leo Wiederkehr*, dipl. Bauing. HTL, SBB, Hauptabteilung Bau, Ib-BTS, 6002 Luzern