Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 26

Artikel: Eine gekrümmte Verbundbrücke für das Taktschiebeverfahren
Autor: Conzett, Jürg / Muttoni, Aurelio
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79271

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: 09.02.2026

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

Jürg Conzett, Chur, und Aurelio Muttoni, Lugano

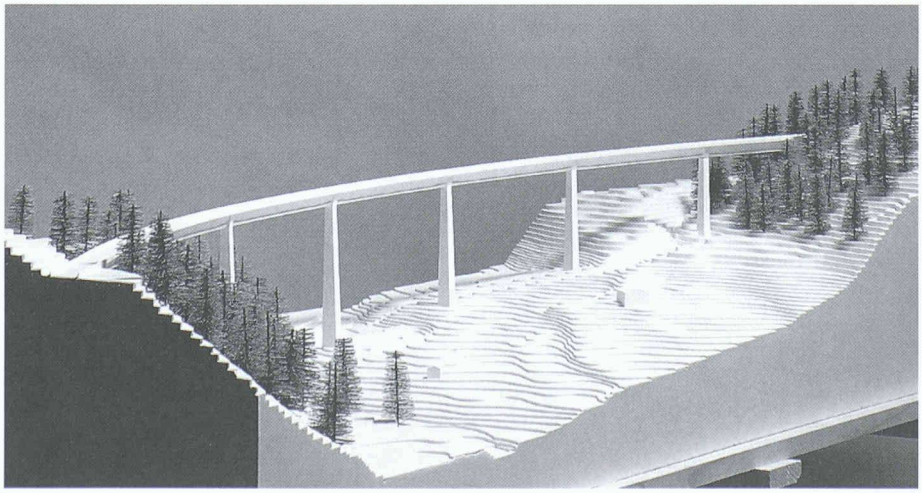
Eine gekrümmte Verbundbrücke für das Taktschiebeverfahren

Im Jahr 1994 wurden drei Ingenieurbüros zu Studienaufträgen für die Sunnibergbrücke der Umfahrung Klosters eingeladen. Für die zurzeit grösste Brückenbaustelle Graubündens wurden dabei auch unkonventionelle Vorschläge willkommen geheissen. So entstand das nachfolgend beschriebene, nicht ausgeführte Projekt einer Stahl-Beton-Verbundbrücke mit Regelspannweiten von 80 Metern, bei der die besonderen Bedingungen des Einschiebens eines gekrümmten Verbundträgers zur Querschnittsform eines auf der Spitze stehenden Dreiecks führten.

Die Sunnibergbrücke gehört aufgrund ihrer Linienführung zu den asymmetrischen, stark gekrümmten Talübergängen, die den einen Hang tangential verlassen und rechtwinklig auf die gegenüberliegende Seite münden, wie etwa der Landwasserviadukt bei Filisur oder die Aarebrücke der Bözbergbahn bei Umiken/Brugg. Dieser Situation entsprechend, ist die Wahl einer Folge mehrerer, annähernd gleich grosser Spannweiten naheliegend.

An einem Landschaftsmodell 1:1000 wurden vorerst die verschiedenen Möglichkeiten der Spannweiteneinteilung geprüft. Mit fünf Feldern von 80 m und je einem Randfeld von 60 m ist das Tragwerk gut auf die topografischen Verhältnisse abgestimmt: der erste Pfeiler der Nordseite steht auf einer kleinen natürlichen Terrasse und wird mit einem Schacht fundiert, während sämtliche übrigen Pfeiler im gut zugänglichen und geotechnisch günstigen Talboden stehen. Kürzere Spannweiten hätten zwar leicht geringere Überbaukosten ergeben, wirkten jedoch ästhetisch ungünstig. Im weiteren ging es auch darum, die Eingriffe in die fast parkähnliche Auenlandschaft unter der Brücke gering zu halten. Grössere Spannweiten wären andererseits mit dem Taktschiebeverfahren nicht mehr zu bewältigen gewesen.

1
Übersicht – Modellfoto



Das Taktschiebeverfahren

Die Baustelle erscheint für das Taktschiebeverfahren geeignet: das nördliche Widerlager ist mit Bahn und Strasse bereits gut erschlossen und weist genügend Platz für die Installationen auf, auch sind Steigung und Krümmung der Brücke konstant. Bei schlanken, hohen Pfeilern bietet sich das Verfahren mit Pfeilerverschiebeanlagen an, bei dem auf jedem Pfeilerkopf eine synchron gesteuerte Vorschubeinrichtung installiert wird, so dass während des Vorschubs keine Lagerreibungskräfte und damit auch keine Biegemomente in Längsrichtung in den Pfeilern auftreten (Bild 2) [1].

Die Spannweiten von 80 m sind allerdings gross. Konventionelle Beton-Hohlkasten wären nur mit Hilfsstützen oder temporären Abspannungen einzuschieben. Wenn diese komplizierten Massnahmen vermieden werden sollen, muss vor allem ein Träger mit geringerer Eigenlast gesucht werden.

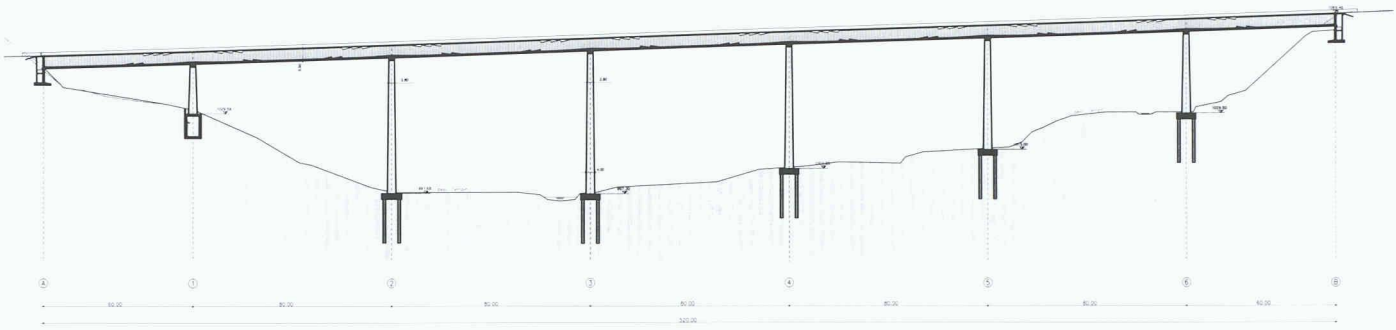
2
Pfeilerdetail

Die statisch am schlechtesten ausgenützten Teile einer Beton-Hohlkastenbrücke sind in der Regel die Stege. Allein aus konstruktiven Gründen müssen sie in Beton mindestens etwa 40 cm stark gewählt werden. Die gleiche statische Funktion erfüllt im vorliegenden Beispiel jedoch ein 12 mm starkes Blech aus Stahl S 355.

Der Überbau wird von der Nordseite aus in 40 m langen Etappen hergestellt. Für den Einschub wird die Spitze des Überbaus mit einem 25 m langen Schnabel künstlich verlängert. Im darauffolgenden Bereich wird die Beton-Fahrbahnplatte über 40 m Länge vorläufig weggelassen. Die beiden oberen Flansche der Stahlstege werden hier mit einem provisorischen Windverband verbunden. Mit diesen Massnahmen gelingt es, das maximale Konsolmoment des Bauzustands mit 160 000 kNm kleiner als das grösste Biegemoment des Endzustands zu halten. Die Länge des Vorbauschnabels ist so gewählt, dass das grösste Moment während des Vorschubs im stärksten Querschnitt auftritt.

Stege aus gefaltetem Blech

Die Idee, im Brückenbau Stege aus gefaltetem Blech mit Gurten aus Beton zu kombinieren, wurde vom französischen Ingenieur Pierre Thivans in den achtziger Jahren entwickelt. Die gefalteten Stege bieten zwei Vorteile: einerseits besitzen sie eine grosse Beulsteifigkeit, anderseits sind



3
Längsschnitt

sie dank ihrer Form in Längsrichtung derart weich, dass sie keine Biegespannungen aufnehmen; die Vorspannkräfte in Ober- und Untergurt wirken ausschliesslich auf den Beton. Es findet also eine klare Arbeitsteilung statt: Biegemomente werden von den Gurtungen aufgenommen, Querkräfte von den Stegen. Zur Illustration dieses Prinzips pflegte Thivans ein biegsames Trinkröhrchen zu benutzen, das sich im gefalteten Bereich biegeweich verhält, ohne dabei an Torsionssteifigkeit einzubüssen. In Frankreich und Deutschland sind bisher einige Brücken in dieser Bauweise erstellt worden, zum Beispiel der Pont de Cognac (Spannweiten bis 43,00 m) und der Viaduc de Charolles (Spannweiten bis 53,55 m, s. «Stahlverbundbrücken im Aufwind», Bild 3), sowie eine Anzahl Eisenbahnbrücken für neue Hochgeschwindigkeitsstrecken der Deutschen Bundesbahn [2], [3]. Einzelne Objekte wurden im Taktvorschub erstellt, so etwa auch der erwähnte Viaduc de Charolles.

Krafteinleitung beim Taktvorschub

Während des Einschubs treten grosse Auflagerrektionen auf, die an jeder beliebigen Stelle des Brückenträgers angreifen können. Damit die Stege unter dieser Einzellast nicht ausbeulen, ist ein starker, biegesteifer Untergurt notwendig, der die Auflagerkräfte wie eine Schwelle über eine gewisse Länge der Stege verteilen kann.

Beim Vorschub eines gekrümmten rechteckigen Kastenquerschnitts treten auf der vordersten Stütze erhebliche Torsionseinspannmomente auf. Die Lage der Resultierenden der Auflagerkräfte befindet sich anfangs leicht auf der Kurvenaussenseite, verschiebt sich aber mit zunehmender Auskragung immer mehr in Richtung des inneren Stegs.

Wenn also mit zwei Verschiebeanlagen (je eine unter den Stegen des Kastenträgers) pro Pfeiler gearbeitet wird, wird die Auflagerkraft nicht etwa gleichmässig auf beide verteilt, sondern es treten Phasen des Einschubs auf, in denen die innenseitigen Pressen fast die volle Last übernehmen (Bild 4). Im Querschnitt entstehen dabei Querbiegemomente aus dem antimetrischen Anteil der Auflagerkräfte, die besonders dann hoch sind, wenn sich während des Einschubs kein innerer Querträger über den Auflagern befindet.

Der Dreiecksquerschnitt mit zentraler Krafteinleitung bietet die Möglichkeit, diese Probleme anders zu lösen. Der betonierte Untergurt erhält zwangsläufig eine gedrungene Form, er ist schmal und hoch und daher gut in der Lage, die konzentriert angreifenden Auflagerreaktionen gleichmässig in die beiden Stege zu verteilen. Der Dreiecksform entsprechend, wird nun auf den Pfeilern nur noch eine einzige, mittige Verschiebeanlage angeordnet, die den Brükkenträger über ein allseitig drehbares Neopren-Kipplager stützt. Auf die Ableitung der Torsionseinspannmomente wird somit verzichtet, diese Aufgabe muss der Brückenträger selbst übernehmen.

Dank der zentrierten Krafteinleitung in einen dreiecksförmigen Querschnitt treten in den Stegen praktisch keine Querbiegemomente auf.

Materialien

Beton:
Fahrbahnplatte: Beton B 35/25, CEM I 325 kg/m^3, frostbeständig.
New-Jersey-Brüstung: Beton B 35/25, CEM I 325 kg/m^3, frosttausalzbeständig.
Untergurt: Beton B 45/35, CEM I 325 kg/m^3, frostbeständig.
Fundationen, Pfeiler und Pfeilerköpfe: Beton B 35/25, CEM I 325 kg/m^3, frosttausalzbeständig.

Stahl:
Stege: Stahlblech 12 mm, S 355, Sandstrahlen Sa 2½ und Grundanstrich 2× Zinkphosphat. Zwischen-/Deckschicht 2× z.B. Eisenglimmer oder PU-Email. Kopfbolzendübel Durchmesser 22 mm, Länge 150 mm
Bewehrungsstahl: Stahl S 500
Spannstahl: Drähte gezogen, Durchmesser 7 mm, f_{yp} = 1500 N/mm^2

Am Projekt Beteiligte

Auftraggeber:
Tiefbauamt Graubünden, Chur

Bauingenieure:
Ingenieurgemeinschaft Branger & Conzett AG, Chur und Grignoli & Muttoni, Lugano. Mitarbeiter: Marco Tajana, dipl. Ing. ETH/SIA, Gianfranco Bronzini, dipl. Ing. HTL

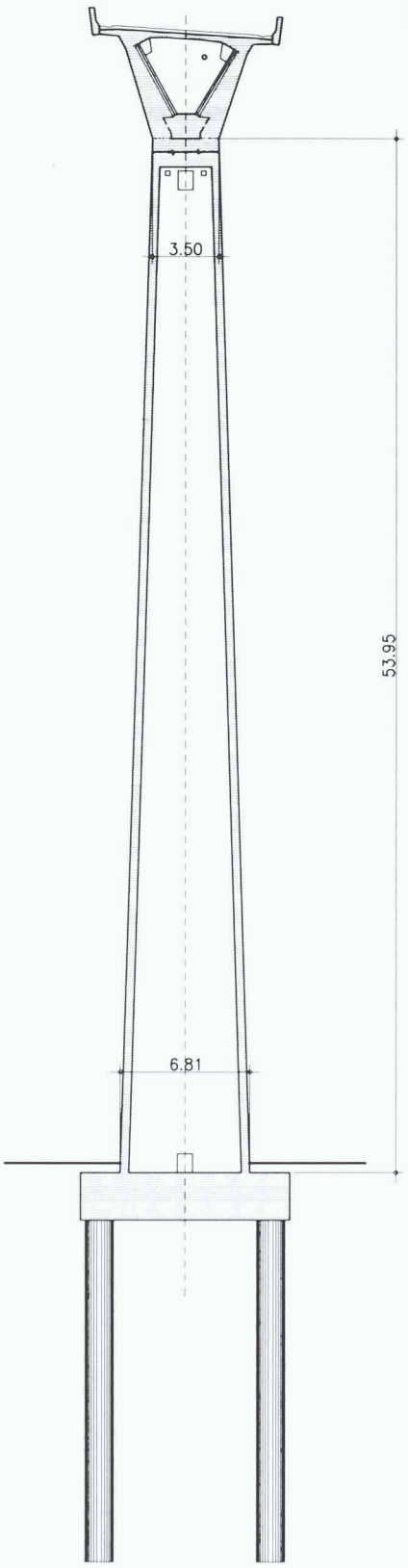
Kostenberechnung Baumeisterarbeiten:
Zschokke Chur AG, Heinr. Hatt-Haller, Zürich, StahlTon AG, Mezzovico.

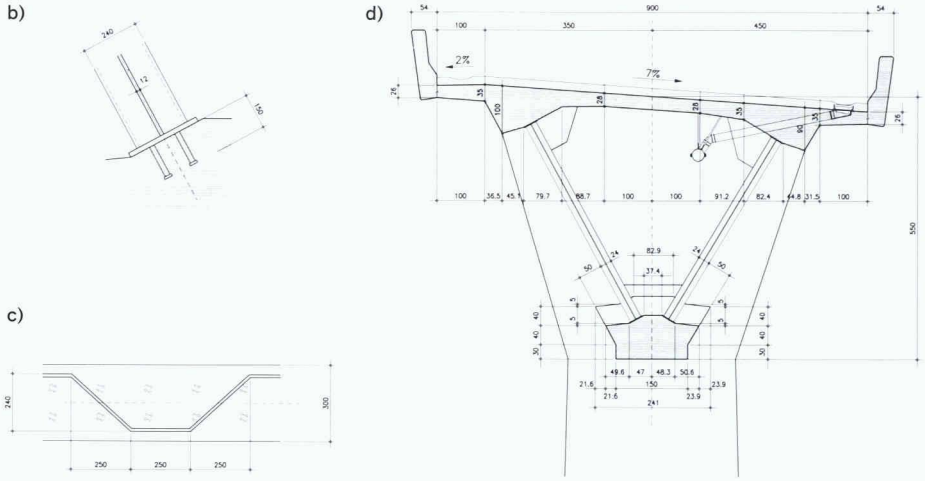
Kostenberechnung Stahlbau:
Geilinger AG, Bülach, Morel AG, Serneus.

Kostenberechnung Vorschub:
J. Iten-Ritz, Morgarten

Sicherheit im Bauzustand

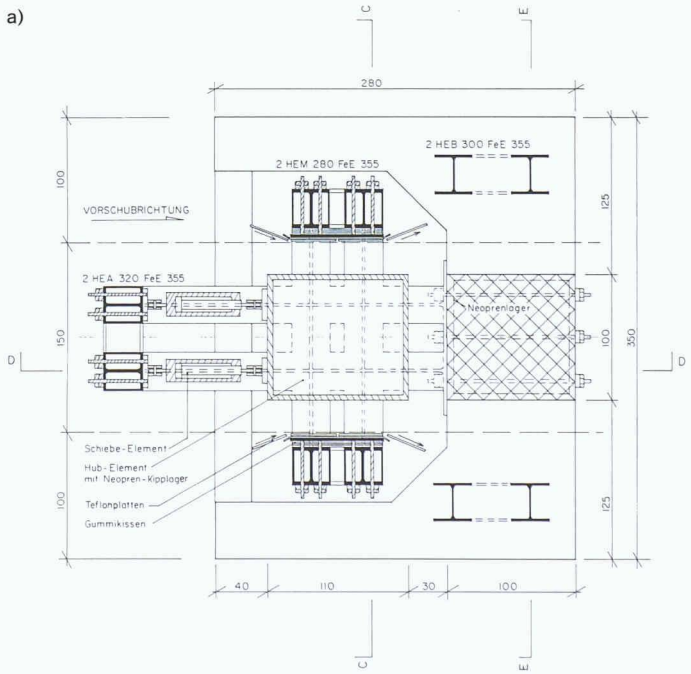
Während des Vorschubs ist der Brückenträger nur beim Widerlager gegen Verdrehen gehalten. Auf den Stützen liegt er einzig auf den zentralen unteren Lagern, kann sich also in dieser Phase frei verdrehen. Die Torsionsmomente aus Eigenlast bleiben trotz der Grundrisskrümmung in kleinen Grenzen - der gekrümmte punktgelagerte Träger stabilisiert sich selbst - infolge Windlasten können jedoch grössere Torsionsmomente (damit auch zusätzliche Längsmomente) und Verdrehungen auftreten. Der Grund dafür ist, dass die Resultierende der Windlasten ziemlich genau auf der Höhe des Schubmittelpunkts knapp unter der Fahrbahnplatte liegt, während die horizontalen Reaktionen auf der Höhe des Untergurts angreifen. Die Einflüsse zweiter Ordnung wirken sich zusätzlich verschärfend aus. Nach eingehender Vergleichsrechnung zeigte es sich, dass es nicht wirtschaftlich ist, den Querschnitt auf diese Spitzenwerte zu dimensionieren, da eine erheblich grössere Längsvorspannung notwendig gewesen wäre. Stattdessen wurde folgendes Konzept gewählt: Der Brückenträger wird während der Betonierphasen über allen Stützen auf Torsion eingespannt. Dazu werden auf dem Stützenkopf zwei aufrecht stehende Zwillingsträger (HEB 300) einbetoniert, an deren Köpfen sich hydraulische Pressen befinden, die auf die Unterflächen der

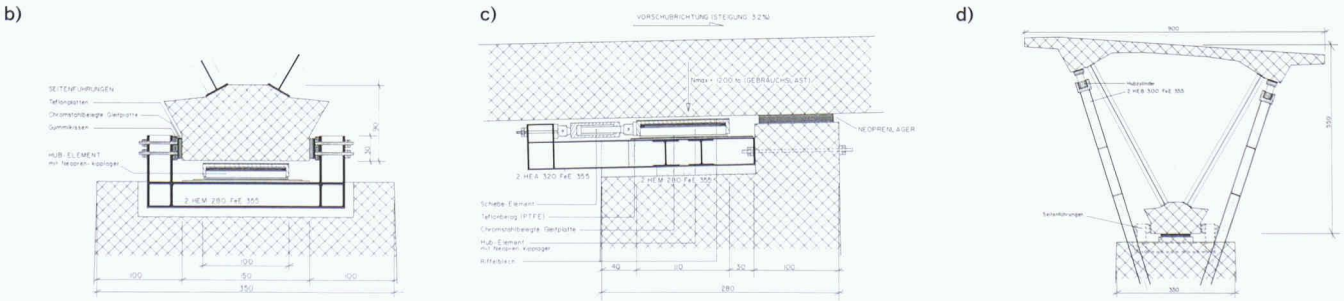


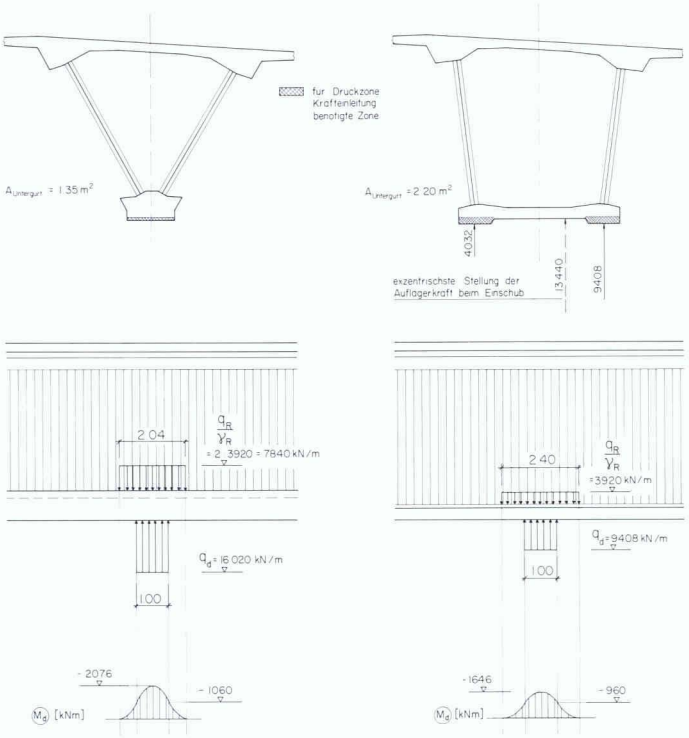


4 (links und oben)
Schnitte und Details mit a) Pfeiler, b) Detail Anschluss Steg–Untergurt, c) Grundriss des Stegs und d) Feldquerschnitt

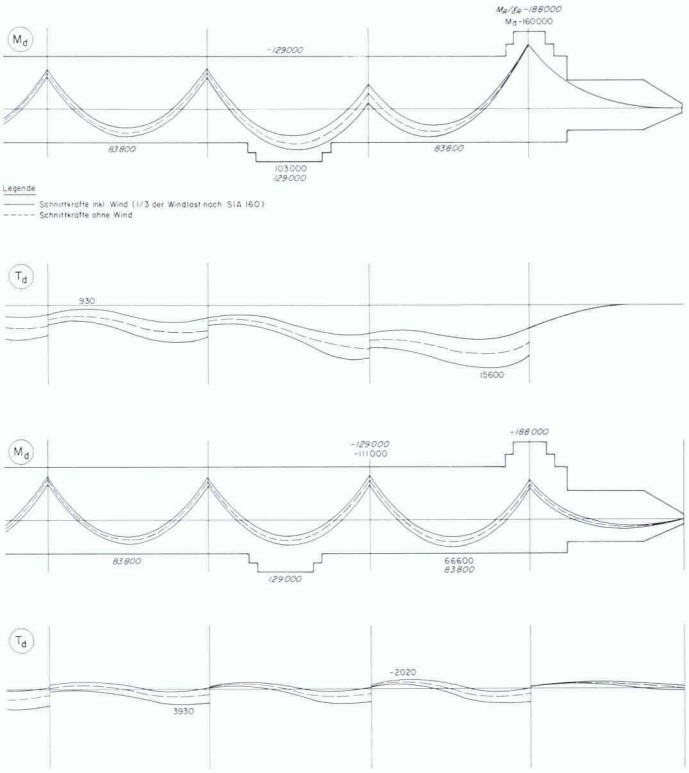
5
(rechts und unten)
Disposition Pfeilerverschiebeanlage mit a) Grundriss Pfeilerkopf, b) Schnitt C–C, c) Schnitt D–D und d) Schnitt E–E







6
Vergleich der untersuchten Querschnitte



7
Schnittkräfte zweier Phasen des Vorschubs

Fahrbahnkonsolen wirken; dem Querschnitt wird also sozusagen unter die Schultern gegriffen. Die hydraulischen Pressen werden in diesem Zustand mit Stellringen fixiert. Die Aufnahme auch von grossen Windkräften ist problemlos möglich. Für den Vorschub werden diese Pressen für einige Stunden gelöst. Die statischen Berechnungen und die Dimensionierung der Vorschubanlage wurden für Eigenlast und ⅓ der maximalen Windlast durchgeführt. Sollte während des Vorschubs eine grössere Windlast auftreten, kann der Träger jederzeit durch Ausfahren der oberen Pressen blockiert werden. Der Vorschub bleibt dann für die Dauer des Sturms unterbrochen. Die Bemessungsschnittkräfte wurden mit einem Lastfaktor von 1,3 für die Eigenlast und 1,5 für das Windlast-Drittel ermittelt. Die Verformungen der Schnabelspitze erreichen maximal 70 cm.

Nach erfolgtem Vorschub werden die HEB-Hilfsstützen auf den Pfeilerköpfen mit den Stahlstegen provisorisch verbunden. Anschliessend können die aussenliegenden Pfeilerköpfe durch Aussparungen in Fahrbahnplatte und Stegen gegossen werden.

Ästhetik

Die Erscheinung der Brücke in der Landschaft wurde an einem Modell der gesamten Brücke im Masstab 1:500 überprüft, die Pfeilerkopfpartie wurde zusätzlich im Masstab 1:50 nachgebildet. Mit den einfachen, volumetrischen Formen und den mit starkem Anzug versehenen Pfeilern besteht durchaus ein Bezug zu den Steinviadukten der Jahrhundertwende. Da Pfeiler und Träger stark plastisch ausgeformt und im Materialeinsatz differenziert ausgebildet sind, ergibt sich trotz der kräftigen Dimensionen der Einzelteile insgesamt die gewünschte elegante Wirkung.

Zunächst gelangten wir aber «auf rein empirischem Wege zu der Anwendung des so wichtigen Prinzips der Hohlkörperkonstruktion und der Korrugationsmethode in der Baukunst, die darauf begründet ist, dass geschweifte und gefältelte Bleche bei geringstem Aufwande des Stofflichen die grösste Festigkeit und Stabilität sichern... Obwohl dies bis jetzt nur in rein technischem Sinne und Geiste geschehen ist, lassen sich dennoch hieran für die Zukunft der Kunst einige Hoffnungen knüpfen» [4].

Adresse der Verfasser:
Jürg Conzett, dipl. Bauing. ETH/SIA, Herrengasse 6, 7000 Chur, und *Aurelio Muttoni*, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/SIA, Via Somaini 9, 6900 Lugano

Literatur

[1]
Cichocki, Bernd und Mayer, Karl Hermann: Anwendung der Taktschiebebauweise bei grossen Stützenhöhen. (Österreichisches) Bundesministerium f. Bauten u. Technik, Strassenforschung Heft 221

[2]
Thivans, Pierre u.a.: Structures à âmes métalliques plissées. Annales de l'ITBTP, no. 458, Oct. 1987

[3]
Grimm, Rainer u.a.: New bridges for high-speed trains. Darmstadt Concrete, Vol. 7, 1992

[4]
Semper, Gottfried: Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten. München 1878/79