

Schrägseilsteg: leichter Steg im Freivorbau über die Sonne

Autor(en): **Zeerleder, Jean-Louis / Adamina, Reto / Brunner, Maurice Y.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 33-34

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77946>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ASIC-Artikelreihe: Neuzeitliche Bauwerke

Schrägseilsteg

Leichter Steg im Freivorbau über die Saane

Für einen Wanderweg war die Saane kurz vor der Einmündung in die Aare zu überqueren. Die empfindliche Flusslandschaft nahe eines Naturschutzgebietes und die starke Hochwassergefährdung stellten besondere Anforderungen an das Projekt. Eine leichte und transparente Stahlkonstruktion mit Schrägseilverspannung ermöglichte, den Brückenschlag rasch, elegant und preiswert zu verwirklichen.

Die Aufgabe

Der linksufrige Weg längs der Aare wird von der Einmündung der Saane unterbrochen und damit eine grossräumige

VON JEAN-LOUIS ZEERLEDER,
RETO ADAMINA UND
MAURICE Y. BRUNNER,
BERN

Wanderverbindung zwischen der Region Bern und den Regionen des Seelandes unterbunden, es sei denn, man nehme einen Umweg von 9 km in Kauf. Deshalb wurde der Uferweg längs der Aare mit einem Brückenschlag über die Saane, nahe ihrer Mündung, wesentlich attraktiver gemacht. Dieser an sich künstliche Eingriff technischer Art musste sorgfältig gestaltet werden. Im Bereich der Saanemündung befindet sich ein Naturschutzgebiet, das mit dem Uferweg nicht belastet werden sollte. Aus diesem Grund wurde für den Übergang eine Stelle 500 m flussaufwärts gewählt, ausserhalb des Naturschutzgebietes. Die Saane ist in diesem Gebiet kanalisiert und wird beidseitig von Hochwasserdämmen begleitet. Die zeitweise überschwemmten Vorlandgebiete werden freigehalten von Busch- und Auenvegetation, um bei Überschwemmungsperioden den Abfluss des Wassers nicht zu beeinträchtigen.

Vorstudien

An der Ingenieurschule in Burgdorf wurde 1987 von einigen Diplomanden ein Brückenprojekt am vorgesehenen Standort bearbeitet. Die eingereichten Entwürfe verwendeten in verschiedenen Varianten Holz, Beton und Stahl. Sie dienten als Grundlagen für die weitere Projektierung. Daneben musste der Bericht des kantonalen Raumplanungsamtes über das See- und Flussufergesetz vom Juli 1986 beachtet werden. Eine leicht wirkende Konstruktion und die Einpassung in die Umgebung waren die ästhetischen Anforderungen an das Projekt.

Projektidee

Die Wahl der weiter zu bearbeitenden Projektidee erfolgte aufgrund folgender Überlegungen:

- Da die Brücke als technischer Eingriff in der stark grünen Landschaft auffällt, sollte sie einem schon vorhandenen derartigen Eingriff entsprechen. In Frage kam Beton (vorhandene Autobahnbrücke) oder verzinkte Eisenkonstruktion (BKW Leitung).
- Die Forderung des Bundesamtes für Wasserbau, wonach unterkant Brückenkörper 1,50 m über der max. Hochwasserkote liegen müsse, lässt das Bauwerk in der Landschaft deut-

lich sichtbar werden. Eine möglichst leichte und transparente Konstruktion war deshalb erwünscht.

- Die ebenfalls vom Bundesamt verlangte Freihaltung des Hauptgerinnes von Stützen, sprach für einen gerüstfreien Vorbau des Brückenkörpers (Vorfabrikation).

Als erstes wurde festgestellt, dass eine Hängebrücke aus Stahl die Kriterien am besten erfüllen kann. Alle übrigen Vorschläge wirkten entweder zu schwer, waren zu kostenintensiv oder boten Schwierigkeiten bezüglich den beschränkten Zufahrtsmöglichkeiten in dieser abgelegenen Gegend. Zudem sollten, wegen dieser Abgelegenheit, die Unterhaltsarbeiten auf ein Minimum beschränkt bleiben.

In einem zweiten Schritt wurden Kostenschätzungen erstellt. Dabei zeigte es sich, dass das Kostendach, das sich die Projektleitung gesetzt hatte, überschritten wurde. Deshalb untersuchte man die Möglichkeit, den Steg nicht von Hochwasserdamm zu Hochwasserdamm, sondern vom rechtsufrigen (Seite Mühleberg), der unmittelbar am Hauptgerinne liegt, bis über das Hauptgerinne auf die linke Seite (Seite Wileroltigen) zu führen, und ihn dort im Vorland enden zu lassen.

Das Projekt

Die Baudirektion des Kantons Bern als Bauherr vertreten durch das Raumplanungsamt (Projektleitung) und das Tiefbauamt, Oberingenieur Kreis II (Oberbauleitung) erteilte Ende August 1988 den Projektierungsauftrag für einen neu zu erstellenden Saanesteg. Im Juli 1989 folgte der Auftrag für das Ausführungsprojekt und die Bauleitung. Die Lage des Fussgängersteges wurde auf Flusskilometer 129.8 fixiert, ca. 500 m oberhalb der Einmündung in die Aare im Bereich Wilerau-Isleren.

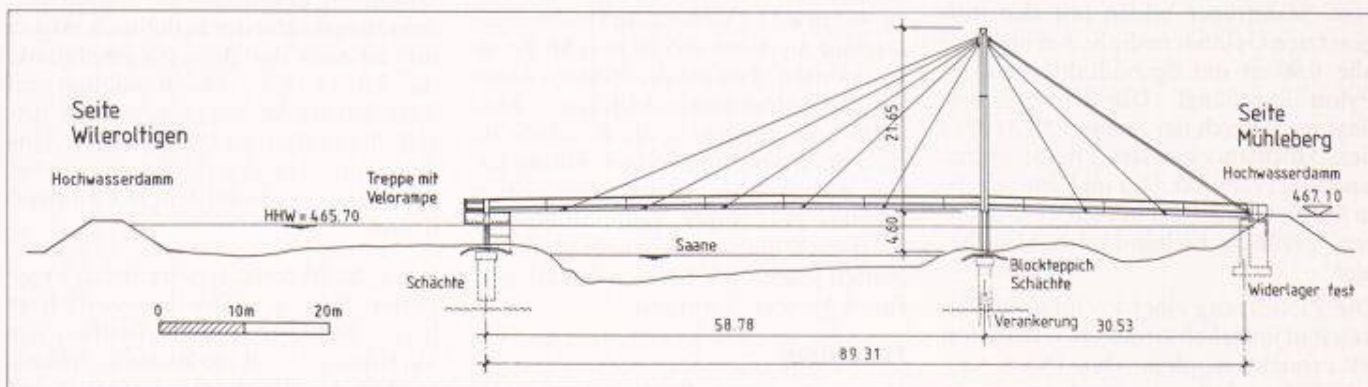


Bild 1. Ansicht in Flussrichtung

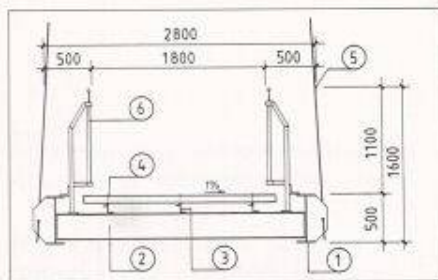
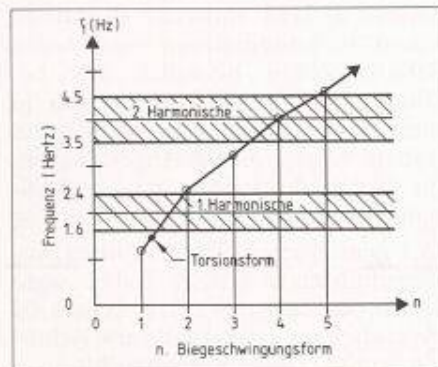


Bild 2. Querschnitt: 1 - Längsträger I PE 500; 2 - Querträger I PE 270 mit Windverband am Oberflansch; 3 - Pfetten Z 100; 4 - Holzbohlenbelag Eiche $d = 65$ mm; 5 - Seil; 6 - Staketen-Geländer



Bestvariante

Aus den Variantenstudien zeichnete sich schon bald die Lösung in Form eines Schrägseilsteges ab, die im Januar 1989 den angrenzenden Gemeinden Mühleberg und Wileroltigen vorgestellt wurde und deren Zustimmung fand.

Die Grundlage für die Baueingabe war das Bauprojekt für einen ca. 90 m langen Schrägseilsteg mit einem Portal-Pylon am rechten Ufer im Vorlandbereich. Die Spannweiten betragen 59 m über der Saane und 31 m über dem rechtsufrigen Vorland bis zum Hochwasserdamm, wo ein massives Widerlager fundiert ist und der Damm mit dem Fussweg um ca. 1,25 m erhöht wird. Das linksufrige Brückende liegt im Vorland.

Der Pylon besteht aus geschweissten, quadratischen Stahlhohlprofilen, die auf einem Betonunterbau stehen. Die Pylonspitze ragt ca. 26 m über das Terrain. Stahlträger bilden mit den aufgesetzten Geländern die Seiten und sind alle 9,40 m mit Spiraldrahtseilen am Pylon angehängt. Die Konstruktion liegt im Bereich der Saane 1,50 m über dem Höchsthochwasser. Die Stahlteile sind feuerverzinkt. Der im Lichten 1,80 m breite Gehweg ist mit auswechselbaren, gerillten Eichen-Holzbohlen belegt.

Die Zielsetzung einer leichten, schlanken und unterhaltsarmen Konstruktion ist erreicht worden. Der Pylon verschwindet fast im hochstämmigen Gehölz des rechten Vorlandes, und die

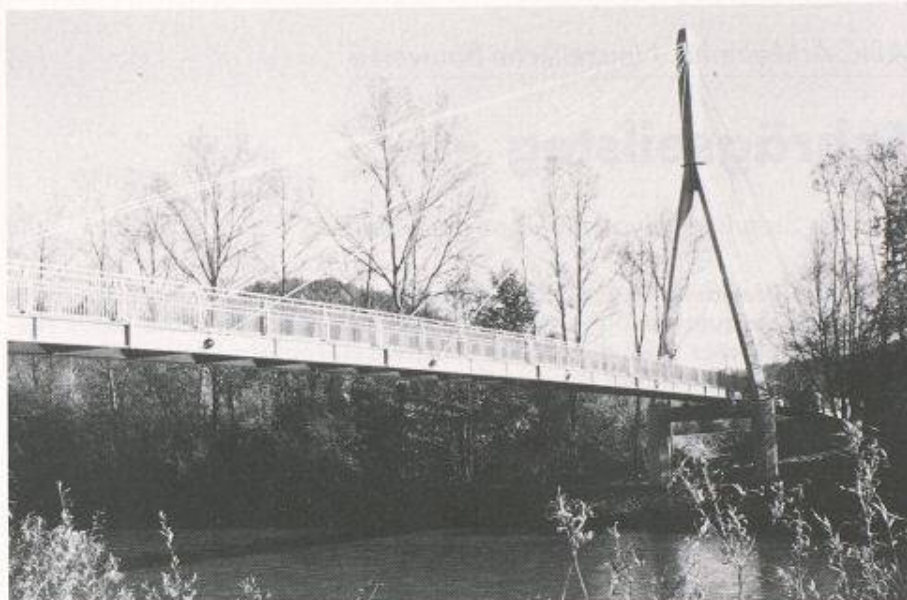


Bild 4. Brückenansicht von Westen

Bild 3. Vergleich der Schwingungsfrequenzen mit den Anhaltswerten (schraffierte Bereiche) gemäss SIA Norm 160 (1989)

Brückenkonstruktion passt sich gut in die Landschaft ein.

Baugrund

Der Standort befindet sich in der Schotterebene der Saane unmittelbar an deren Übergang zum sumpfigen Mündungsgebiet in die Aare. Während im eigentlichen Saanetal die nur wenige Meter dicke Felsüberdeckung zur Hauptsache aus teilweise grobkörnigem Kies besteht, können im Mündungsgebiet Totwasser- und Verlandungssedimente auftreten. Rammsondierungen und eine Rotationskernbohrung im Bereich des Pylon-Fundamentes ergaben eine Felsoberfläche (Molasse) auf Kote 456 m ü.M. und eine sandig-kiesige Flusschotteroberfläche am linken Ufer auf Kote 461 m ü.M. bzw. am rechten Ufer 462 m ü.M.

Normalerweise fliesst die Saane im Normalgerinne mit einer Spiegelhöhe von ca. 462 m ü.M. Das höchste Hochwasser erreicht die Kote 465,70 m ü.M. Es ist zu erwarten, dass um die Pfeiler - durch gestörte Strömungsverhältnisse - Auskolkungen entstehen; die Kolkentiefe ist ca. 1 m unter der heutigen Flusssohle (ca. 459 m ü.M.) anzunehmen. Beim rechten Widerlager Seite Mühleberg muss nicht mit eigentlichem Kolk, allenfalls jedoch mit Erosion des Dammfusses gerechnet werden.

Fundation

Haupttragelement für die Vertikalkräfte ist das Pylon-Fundament. Aufgrund

einer Unternehmervariante mit Schachtfundationen anstelle der vorerst geplanten Pfahlfundation und nach Rücksprache mit dem Geologen wurden zwei Schächte mit Durchmesser 150 cm mit dem Aushub sukzessive bis auf die Felsoberfläche abgesenkt. Schwierigkeiten mit dem Absenken während der Ausführung sowie sehr grosse Wasserinfiltrationen führten dazu, die vorgesehenen Schächte im unteren Schachtbereich als Futterrohre zu gebrauchen und das Führungsrohr mit Durchmesser 200 cm auszuführen, was auch zu Verzögerungen im Arbeitsablauf führte, den Fertigstellungstermin des Steges jedoch nur unwesentlich beeinflusste. Über den mit Ankern zusätzlich in den Fels eingebundenen Schächten liegt ein Fundamentriegel, darüber folgt das jochartige Auflager für Pylon und Brücke.

Das massive rechte Widerlager Seite Mühleberg übernimmt die ganzen Verankerungskräfte der Seilabspannungen und ist auch der Bewegungsnullpunkt des Steges. Eine Flachfundation mit Kote 460 m ü.M., die aufgehenden, hinterfüllten Front- und Seitenwände, eine Schleppplatte sowie die Brüstungen bilden das Stegende auf dem Hochwasserdamm.

Das linke Widerlager Seite Wileroltigen ist mit 2 Schächten Durchmesser 200 cm bis auf die Kote 457 m ü.M. fundiert. Ein Verteilriegel trägt die Widerlagerwand, in der die Treppenkonstruktion mit einer Auskrugung von 2,40 m einge-



Bild 5. Untersicht mit Seilverankerung und Elementstoss



Bild 6. Montage im Freivorbau: Ein Brückenelement hängt am Kabelkran kurz vor dem Absenken und Ansetzen



Bild 7. Das Brückenelement ist angesetzt und wird verschraubt. Die Seilabspannung ist noch nicht eingezogen

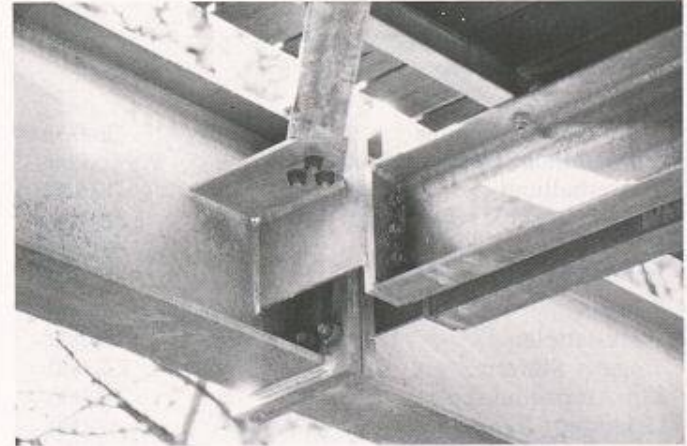


Bild 8. Detail des Elementstosses

spannt ist. Die Treppenanlage wurde dabei bezüglich Trittverhältnis, Zwischenpodest und Geländer den Wünschen der Behindertenorganisation angepasst und mit einer Velorampe ergänzt.

Tragwerk

Die tragenden Konstruktionsteile des Gehweges sind die beiden Aussenlängsträger, die Windverbände mit den Queraussteifungen sowie der Holzbohlenbelag auf drei Sekundärlängsträgern. Der Steg ist alle 9,40 m am Pylon mit verzinkten, eingefetteten Spiralseilen aufgehängt. An den Querschotten der Längsträger werden die Seile mittels Anpressgewinde und Muttern verankert. Oben sind sie an den durch den Pylon dringenden Blechen mit Anpressköpfen und Gabeln gelenkig angeschlossen. Die Seile sind jederzeit auswechselbar.

Aus Sicherheitsgründen wurde ein Staketten-Stahlgeländer einer billigeren Konstruktion vorgezogen und bildet mit dem Handlauf auf 1,10 m über dem Belag den seitlichen Abschluss. Ebenfalls aus Sicherheitsgründen wurde ein an der Oberfläche gerillter Eichenholz-

belag gewählt, der ein Quergefälle von 1% gegen die Unterwasserseite aufweist.

Die Lagerung auf der Betonkonstruktion erfolgt beim Widerlager Seite Widerolltügen und beim Pylon mittels Elastomerlagern (z. T. einseitig beweglich, zur Aufnahme der seitlichen Windkräfte). Die festen Topflager beim Widerlager Seite Mühleberg übernehmen die Horizontal-Längskräfte und übertragen sie in den Unterbau.

Die statischen und dynamischen Berechnungen

Als Grundlage für alle Untersuchungen dienten die damals neusten Ausgaben der SIA-Normen:

- SIA 160 (1989): Belastungsannahmen
- SIA 161 (1979 + Anmerkung von 1990): Stahlbau
- SIA 162 (1989): Betonbau

Zur Ermittlung der Schnittgrößen wurde hauptsächlich ein ebenes, feinmaschiges Tragsystem verwendet. Der Überprüfung und einzelnen besonderen Untersuchungen wie z.B. Ausfall

eines Schrägseiles wurde ein räumliches, grobmaschiges Tragsystem zu Grunde gelegt.

Tragsicherheit

Die Berechnung der Schnittkräfte für die Bemessung erfolgte für folgende Gefährdungsbilder:

- Leiteinwirkung Nutzlast 4 kN/m² (400 kg/m²) mit Begleiteinwirkung Schnee oder Temperaturdifferenz.
- Leiteinwirkung Wind auf leerem Steg.
- Ausfall eines Tragseiles als aussergewöhnliche Einwirkung.
- Erzwungene Schwingung durch 2 Jogger von je 800 N Gewicht.

Die Tragsicherheit ist für alle Gefährdungsbilder gewährleistet. Beim Ausfall eines Seiles, einzeln oder auch paarweise, verbleiben Tragreserven mit einer reduzierten Nutzlast für die notwendigen Reparaturarbeiten.

Gebrauchstauglichkeit

Während der Projektierungsphase musste die Anzahl der Abspannseile erhöht sowie der Pylon um ca. 1 m verlängert werden. Ebenso musste der

Baustoffe und Kubaturen:

Beton	B 35/25, PC 300 kg/m ³ Korn ϕ max. = 32 mm	260 m ³
Betonstahl	S 500 Überdeckung 40 mm	16 to
Schalung	Sichtbeton mit Bretterschaltung	600 m ²
Konstruktionsstahl	S 235, feuerverzinkt Pylon Steg und Geländer	13 to 39 to
Abspannung	Spiralseile $\phi a = 29$ mm A _{eff} = 460 mm ² F _t = 585 kN E = 110 kN/mm ²	620 m
Bohlenbelag	Eiche, Laubholz-Qualität II $\sigma_t = 10$ N/mm ² d = 65 mm	180 m ²

Die Anlagekosten

Baumeister		416 000.-
Baustelleneinrichtung	36 000.-	
Spezialfundationen	66 000.-	
Wasserhaltung	49 000.-	
Erdarbeiten inkl. Blockwurf	91 000.-	
Baugrubenabschlüsse	30 000.-	
Betonkonstruktionen	144 000.-	
Stahlbau		515 000.-
Werkstattpläne	18 000.-	
Träger + Stützen	134 000.-	
Seil-Abspannungen	33 000.-	
Geländer + Velorampe	82 000.-	
Korrosionsschutz (Verzinkung)	35 000.-	
Montage	168 000.-	
Brückenlager + Übergänge	20 000.-	
Brückenbelag (Eichenbohlen)	25 000.-	
Diverses		54 000.-
Baugrunduntersuchungen	14 000.-	
Baugespann	11 000.-	
Materialproben	3 000.-	
Infrastruktur (Blitzschutz, Verbotstafeln, Marchsteine)	4 000.-	
Baurechtsentschädigung	10 000.-	
Pächter Inkonvenienzentschädigung	7 000.-	
Dokumentation + Aufrichte	5 000.-	
Honorare		225 000.-
Honorar inkl. Nebenkosten	207 000.-	
Planung Uferschutz	3 000.-	
Geologe	4 000.-	
Prüfingenieur	11 000.-	
Total Anlagekosten 1990		1 210 000.-

Termine

Diplomarbeiten HTL Burgdorf	März 1987
Projektierungsauftrag	August 1988
Vorlage Bauprojekt	Juni 1989
Baubewilligungen	Oktober + Dezember 1989
Baubeginn	April 1990
Montagebeginn Stahlbau	August 1990
Fertigstellung	Oktober 1990
Einweihung	25. Oktober 1990

Pylon etwas verstärkt werden. Grund dieser Änderungen waren das Schwingungsverhalten einerseits und die Anforderung einer schlanken Brückenkonstruktion andererseits. Eingehende Studien über das Schwingungsverhalten dieses doch recht schlanken Steges zeigten, dass der grösste Einfluss auf Schwingungen und Durchbiegungen durch die Seile ausgelöst wird. Sie sind deshalb zum Teil für statische Lasten überdimensioniert.

Mit der vorliegenden Konstruktion wurden nach Absprache mit der Bauherrschaft folgende Gebrauchtauglichkeitswerte erreicht und im Nutzungsplan festgehalten:

Die Durchbiegung unter Gebrauchslasten beträgt im Maximum 15 cm bzw. ca. L/400.

Der kritische Resonanzbereich für den Fussgängerverkehr von 1,6–2,4 Hz (1. Harmonische gemäss SIA 160) wird mit der 1. Eigenfrequenz (sowohl Biegung wie Torsion) unterschritten und mit der 2. Eigenfrequenz knapp überschritten (siehe Bild).

Es werden Eigenfrequenzen über 2,4 Hz akzeptiert und somit Schwingungen (z.B. durch Jogger) in Kauf genommen, ohne dass jedoch die Tragfähigkeit gefährdet ist.

Die 4. Eigenfrequenz der Biegeschwingung liegt im 2. Harmonischen Bereich gemäss SIA 160. Dies wird ebenfalls in Kauf genommen, und zwar aus der Überlegung, dass die höheren Schwingungsformen viel schwieriger anzuregen sind, insbesondere durch unregelmässige Einwirkungen wie Fussgängerschritte.

Alle Eigenschwingungsfrequenzen des Pylons liegen oberhalb der kritischen Resonanzbereiche für Fussgängerbrücken.

Die Montage

Der Steg wurde im Freivorbau über die Saane und das rechte Vorland montiert. Die 10 Elemente zu 9,40 m bzw. 7,30 m (beide Endfelder) wurden aus Einzelteilen auf dem nahe gelegenen Lagerplatz inklusive Belag zusammengesetzt.

Vorerst wurde der Pylon aus drei Einzelteilen vormontiert und mittels Pneu- kran auf den Unterbau versetzt. Die Abspannung erfolgte mit den definitiven Seilen auf das Widerlager Mühleberg und mit Hilfsseilen auf das Widerlager Wileroltigen. Die Elementmontage des Steges wurde durch einen Kabelkran, mit Abstützungen hinter den beiden Widerlagern und einer Zwischenaufhängung am Pylon, ausgeführt.

Beteiligte Firmen*Projekt + Bauleitung*

Gonin - Zeerleder
Ingenieure SIA/ASIC
Jupiterstrasse 45/207
3000 Bern 15

Prüfingenieur

Wanzenried + Hager
Dipl. Bauingenieure ETH/SIA/ASIC
Eigerplatz 5
3000 Bern 14

Baumeister

ZIAG Zimmermann und Astrada AG
Strassen und Tiefbau
Kirchlindachstrasse 98
3052 Zollikofen

Stahlbau

SAWO Sägesser Worb AG
Industriestrasse 25
3076 Worb

Montage

Herzig Montagebau AG
Uttigenstrasse 75
3138 Uetendorf

Drahtseiltechnik

Brugg Drahtseil AG
5242 Birr AG

Als erstes wurde das Element beim Pylon auf die Elastomerlager des Betonjoches aufgelegt und provisorisch fixiert. Anschliessend folgten alternativ beidseitig Element um Element, bis das rechte Widerlager Seite Mühleberg erreicht wurde. Jedes Element hängt an einem neu hinzugefügten Seilpaar. Nachdem das feste Lager hergestellt war, konnten die weiteren Elemente bis zum linken Widerlager Seite Wileroltigen angehängt werden.

Schliesslich mussten die ganze Konstruktion gerichtet und die Seile so gespannt werden, dass einerseits die geplante Höhenlage des Steges und andererseits die berechneten Seilkräfte möglichst genau eingehalten werden konnten. Mit schrittweisem Anziehen der Abspann-Muttern an den unteren Seilenden und begleitenden Höhen-Messungen wurde vorerst die geschwungene Nivellette grob eingestellt und anschliessend verfeinert.



Bild 9. Das fertige Bauwerk von Osten

Die Kontrollmessungen der Seilkräfte ergaben eine befriedigende Übereinstimmung mit der statischen Berechnung, so dass keine weiteren Korrekturen erforderlich waren.

Adresse der Verfasser: J.-L. Zeerleder, dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC, R. Adamina, Ing. HTL/STV und Dr. sc. techn. M. Y. Brunner, dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieurbüro Gonin-Zeerleder, Jupiterstrasse 45/207, Postfach 95, 3000 Bern 15.

Eisenbahnbrücke «Val Mila»

Neue Brücke und Trasseeverlegung der Furka-Oberalp-Bahn

Hintergrund

Umschreibung des gesamten Projektes

Die neue Brücke der Furka-Oberalp-Bahn (FO), welche die «Aua dalla Val Mila» in einem eleganten Bogen über-

VON ROBERT KRÖNI,
KIRCHDORF

quert, ist der zentrale Bestandteil einer Steckenkorrektur von insgesamt 600 m Länge. Das Objekt liegt an der Strecke Oberalp-Disentis, zwischen km 85.60 – km 86.20, oberhalb der Siedlung

Rueras. Mit diesem Bauprojekt konnte die FO eine Reihe von Mängeln der alten Anlage beheben:

- enge Radien ohne Übergangsbögen
- eine auffällige Brücke
- 3 landwirtschaftliche Bahnübergänge
- Bahndamm im Lawinenzug.

In diesem Fall waren wegen der speziellen Lawinensituation konstruktiv und rechnerisch besondere Vorkehrungen zu treffen.

Historischer Abriss

Die Strecke der FO ist an dieser Stelle rund 70 Jahre alt (Bauzeit 1913 bis 1926). Die an dieser Stelle erbaute

Stahlbrücke mit einer Spannweite von 15 m lag in einem Lawinenzug. Die damalige Lösung erstaunt einigermaßen, wurde doch der etwa doppelt so breite, berühmte Lawinenzug mit dem Bahndamm wesentlich verengt. Die damals schon bestehende Lawinenleitmauer wurde vom Bahndamm durchbrochen. Wohl kam es nicht mehr zu Lawinenkatastrophen wie im Jahr 1749, wo das Dorf Rueras verschüttet wurde und 64 Menschen ums Leben kamen. Aber auch «normale» Lawinenniedergänge vermochte der Durchlass nicht zu schlucken, was zu Beschädigungen der Brücke und Widerlager führte und teilweise auch zu Überflutungen des Bahndammes. Menschen kamen aber glücklicherweise nie zu Schaden.

Die Situation war aber unbefriedigend, die zunehmende Verschlechterung des Zustandes der Brücke und Notmassnahmen für die Erhaltung der Widerla-