

Eisenbahnbrücke "Val Mila": neue Brücke und Trasseeverlegung der Furka-Oberalp-Bahn

Autor(en): **Kröni, Robert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 33-34

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77947>

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.

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-



Bild 1. Ausgangszustand



Bild 2. Bauzustand

ger führten zur Ausarbeitung des neuen Projektes.

Werdegang des Projektes

Die Direktion der Furka-Oberalp-Bahn erteilte uns am 9. Jan. 1987 den Auftrag, ein Projekt zu erarbeiten. Ausgehend von der alten Situation, mangelhaft vor allem wegen der Lawinen, wurde ein neues Projekt ausgearbeitet. Für die FO war auch die Korrektur der unbefriedigenden Gleisgeometrie mit engen Radien ohne Übergangsbögen wichtig. Daraus entwickelte sich ein gestrecktes, neues Trasse, das im Bereich der alten Brücke talwärts zu liegen kam und mehrere Überschneidungen mit dem alten Trasse aufweist. Das neue Trasse kann mit höheren Geschwindigkeiten befahren werden. Für eine Bahn mit hohem Anteil an Touristikverkehr ist dies weniger von Belang als die Tatsache, dass durch grössere Ra-

dien der Verschleiss vermindert, der Fahrkomfort verbessert und zudem die Lärmbelastung verringert wird. Der Minimalradius beträgt nun neu 350 m.

Ursprünglich war, ähnlich wie in der alten Lage, nur eine kurze Brücke vorgesehen. Der Massenausgleich für das gesamte Projekt konnte aber nicht gewährleistet werden, so dass eine längere Brücke erforderlich wurde. Die längere Brücke bot auch noch den Vorteil, drei landwirtschaftliche Bahnübergänge zu eliminieren und kann ästhetisch als die bessere Lösung betrachtet werden als ein bis zu 15 m hoher Erddamm.

Projektbeschreibung

Rahmenbedingungen

Die Geometrie und Lage der Brücke wurde durch das neue Trasse be-

stimmt, der Anfang und das Ende durch den Massenausgleich. Die Brücke ist somit nicht zwingend durch die Topographie festgelegt, wenn man vom Bach und dem Lawinenzug absieht.

Die einschneidendste Rahmenbedingung ergab sich durch den Lawinenzug. Ein Gutachten des Schnee- und Lawinenforschungsinstituts Weissflujoch ergab, dass im ungünstigsten Fall zwei Lawinenzüge miteinander losbrechen können und auch die Brücke in der neuen, talseitig verschobenen Lage, mit grösserem Abstand vom Boden als die alte Brücke, erfassen kann. Daraus ergaben sich horizontale Lasten für den Brückenkasten, die ähnlich gross sind wie die vertikalen Lasten (Eigengewicht und Verkehr). Ein weiteres Ausweichen talwärts (um Höhe zu gewinnen) wäre teurer gewesen als die Mehraufwendungen, um die horizontalen Lasten aufzunehmen.

Dieser ungünstigste Lawinenfall ist wohl selten, aber nicht hypothetisch, wie die dokumentierte Lawinenkatastrophe aus dem Jahr 1749 zeigt. Dieses Unglück wurde durch das Zusammentreffen der beiden erwähnten Lawinenzüge ausgelöst.

Vorprojekte

Aufgrund der geringen Höhe über Boden von 8 bis 12 Meter konnte keine Lösung mit grossen Spannweiten gesucht werden. Die Kastenhöhe wäre unproportional gross geworden. Dadurch schied auch eine Lösung aus, welche den ganzen Lawinenzug freigehalten hätte (Spannweite > 40 m). Für die Materialwahl stand eine Lösung im Vordergrund, welche von ortsansässigen Unternehmungen gut bewältigt werden konnte und einen möglichst hohen Anteil der Bausumme lokal beliess, d.h. eher Beton als Stahl oder Verbund.

Die Dimensionen der Brücke konnte innerhalb obiger Einschränkungen nach ästhetischen und statischen Gesichtspunkten frei gewählt werden, was in den Spannweiten der gebauten Brücke von 25-30-30-25 m und der Trägerhöhe von 2 m gut zum Ausdruck kommt.

Nebst der nun gebauten Variante stand auch ein Projekt mit kleinen Spannweiten (10/15/20/20/20/15/10 m) und Vollkastenträger zur Diskussion. Diese Lösung wäre feingliedriger gewesen und hätte in etwa die Dimensionen der traditionellen Bogenbrücken widerspiegelt.

Bemessungskonzept, Statik

Mit dem Bundesamt für Verkehr wurde am 27. April 1989 vereinbart, dass die neuen Normen SIA 160 und 162 zur Anwendung kommen sollten. Die statische

Berechnung wurde mit dem letzten Vernehmlassungsentwurf begonnen und konnte mit den druckfrischen Normen beendet werden. Die vorliegende Brücke dürfte eines der ersten grössten Bauwerke sein, wo die neuen Normen vollständig zu Anwendung gekommen sind.

Statisches System

Die Brücke wurde als Rahmentragwerk, einseitig an einem Widerlager stabilisiert, behandelt. Vor allem aus unterhaltstechnischen Gründen wurde auf Lager auf den Stützen verzichtet. Statisch hatte dieser Verzicht aufgrund der geringen Steifigkeit der Stützen keine grossen Auswirkungen. Die Brücke ist am westlichen Widerlager gehalten. Alternativ dazu stand auch eine schwimmende Lagerung zur Diskussion. Berechnungen zeigten aber, dass die Stützenschnittkräfte nicht geringer gewesen wären. Anstelle der Zwängungen hätten Bremskräfte auf die Stützen gewirkt. Zudem wären auch die Lagerbewegungen nicht geringer geworden und beide Widerlager wären davon betroffen gewesen. Aufgrund der Lawinenlast wurde das westliche Widerlager, das die meisten horizontalen Kräfte aufnehmen musste und grösser ausgebildet wurde, als Fixpunkt bestimmt.

Mit diesem System muss das bewegliche Lager eine Deformation von maximal 5 cm aufnehmen können (Vorspannung, Schwinden, Kriechen, Temperaturdifferenz).

Lastannahmen und Bemessung

Wie die später durchgeführte Belastungsprobe gezeigt hat, sind die Belastungsannahmen der neuen SIA-Norm 160 (Lastgruppe 4, Art. 4.11 ff.) realistisch. Der benutzte Belastungszug von zwei HGe 4/4 II erbrachte in etwa Bemessungsschnittkräfte.

Die spezielle Lawinensituation wurde in einer Expertise des Eidgenössischen Lawinenforschungsinstituts Weissfluhjoch untersucht. Aus der Abschätzung der Lawinenabflüsse mit einer Wiederkehrdauer von 100 Jahren ergeben sich Abflussraten von rund 2000 m³/s, eine Fliesshöhe von 5,4 m und eine Fliessgeschwindigkeit von 10 m/s. Daraus ergeben sich Staudrücke von 25 kN/m² für den Pfeiler. Bei Abflussraten von > 2000 m³/s erhöht sich die Fliesshöhe derart, dass auch der Brückenträger einem Staudruck von 25 kN/m² ausgesetzt ist.

Wenn der Pfeiler durch einen Spaltkeil geschützt wird, so ergeben sich eine Normalkomponente von 8kN/m² und eine Schubkomponente von 4 kN/m².

Die Lawinenlast erreicht grössenordnungsmässig etwa gleich hohe Werte



Bild 3. Fertiges Bauwerk



Bild 4. Alte, zu ersetzende Stahlbrücke

wie vertikale Lastkomponenten. Als Vergleich:

Eigengewicht:	133 kN/m
Verkehrslasten rund:	50/100 kN/m
Lawinenlast:	55 kN/m

Beim Ausnahmefall mit Lawinen ist lediglich die Tragfähigkeit zu garantieren, an die Gebrauchstauglichkeit werden keine Anforderungen gestellt. Beschädigungen des Geländers, der Fahrleitung, aber ev. auch des Betons durch mitgeführte Steine müssen in Kauf genommen werden. Zudem mussten gleichzeitig keine Verkehrslasten berücksichtigt werden. Eine derartige Lawinengefahr wird mit Sicherheit im voraus erkannt und eine Streckensperre verfügt.

Bedingt durch die spezielle Behandlung dieses Lastfalles musste der eigentliche Brückenträger nur unwesentlich verstärkt werden. Es muss hier in Erinnerung gerufen werden, dass der Querschnittswiderstand in horizontaler Richtung grösser ist als in vertikaler Richtung, da die horizontalen Abmessungen des Querschnitts mehr als zweimal so gross sind wie die vertikalen.

Am stärksten durch diesen Lastfall wurden die Lager betroffen. Es ist nicht üblich, dass die Lasten quer zur Längsachse grösser sind als die entsprechenden vertikalen Lasten.

Im massgebenden Lastfall sind:

	max. Lawinen- last	max. Auflager- kraft
Horizontalkraft quer zum Lager	643 kN	255 kN

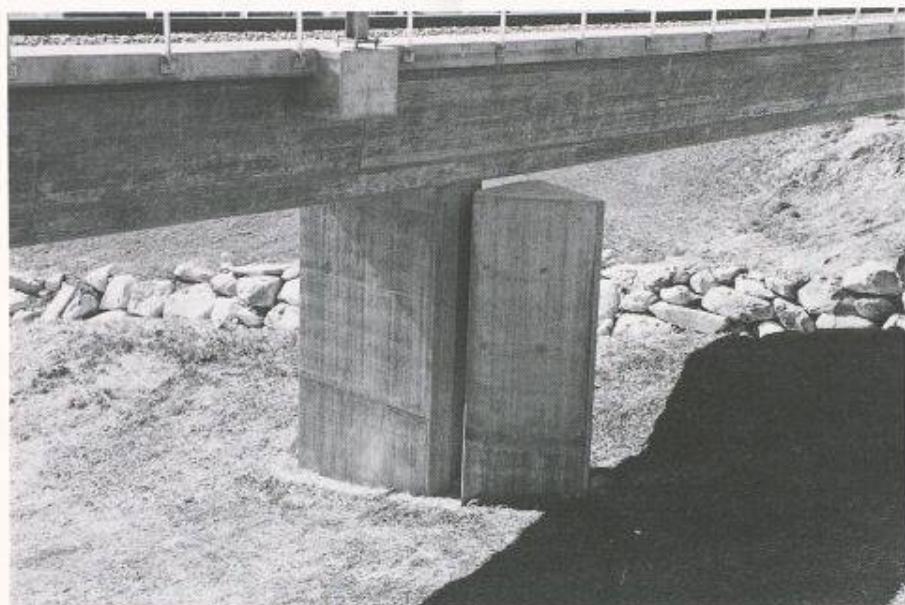


Bild 5. Lawinenspaltkeil

dazugehörige vertikale Auflagekraft	1257 kN	2181 kN
Biegemoment (Horizontal)	2524 kNm	1687 kNm

Für die im Lawinenzug liegende Stütze muss regelmässig mit der Lawinenbelastung gerechnet werden. Sie wurde deshalb auch mit einem Spaltkeil geschützt und musste nicht auf Lawinenkräfte dimensioniert werden. Der Spaltkeil bildet einen Winkel von 60 Grad, was aus Erfahrung am besten geeignet ist. Die Spitze wurde zudem mit einem einbetonierten, feuerverzinkten Stahlwinkel gegen Steinschlag geschützt.

Setzungen wurden mit der Annahme von Setzungsdifferenzen zwischen den einzelnen Fundationen berücksichtigt.

Fundation

Aufgrund der Baugrunduntersuchungen konnte ein guter Untergrund erwartet werden: Moränenmaterial und Bachschutt. Davon ausgehend wurde die Brücke flach fundiert. Die Fundationstiefe wurde unter Berücksichtigung der Frosttiefe, tragfähiger Schichten bzw. zulässiger Setzungen und möglicher Bacherosionen festgelegt und liegt generell 1,5 bis 2,5 m unter Terrainoberfläche.

Detailprobleme

Die Widerlagerkonstruktion wurde so gewählt, dass die Lager jederzeit und von allen Seiten zu Kontrollzwecken optimal zugänglich sind. Zu diesem Zweck wurde der Endquerträger unter die Bodenplatte des Kastens verlängert. Als Lagerelemente wurden Linienkipplager verwendet.

Der der Stütze 1 vorgelagerte Lawinenspaltkeil ist so ausgebildet, dass die Be-

lastungen recht gering werden. Durch die Spitze von 60 Grad werden praktisch nur noch Reibungskräfte des Schnees wirksam.

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Abdichtung und Entwässerung des Brückenkörpers geschenkt, obwohl es sich hier um eine Eisenbahnbrücke handelt, welche vor allem keinen Tausalzbeanspruchungen ausgesetzt ist wie eine Strassenbrücke.

Aufbau der Abdichtung:

- Betonoberfläche sandgestrahlt
- Gefällsmörtel 2-12 cm
- Haftmittel
- Polymerbitumenbahn 5 mm
- Schutzbelag Asphalt 40 mm

Bauausführung

Bauvorgang

In der Höhenlage von 1400 m ü.M. beträgt die nutzbare Bausaison nur 6 bis 7 Monate. Trotzdem konnte die Brücke in weniger als zwei Jahren, zwei Winterpausen eingerechnet, fertiggestellt werden. Baubeginn war der Juli 1989, Inbetriebnahme der 24. Mai 1991.

Sommer 1989: Brücke Seite Ost, zwei Öffnungen

Sommer 1990: Brücke Seite West, zwei Öffnungen, Erdarbeiten Trasseverschiebung

Frühjahr 1991: Gleisarbeiten, Inbetriebnahme

Sommer 1991: Abbruch alte Brücke, Urbanisierung des alten Bahndammes, Wiederherstellung des Lawinenleitdammes, Bachverbauung, Begrünung.

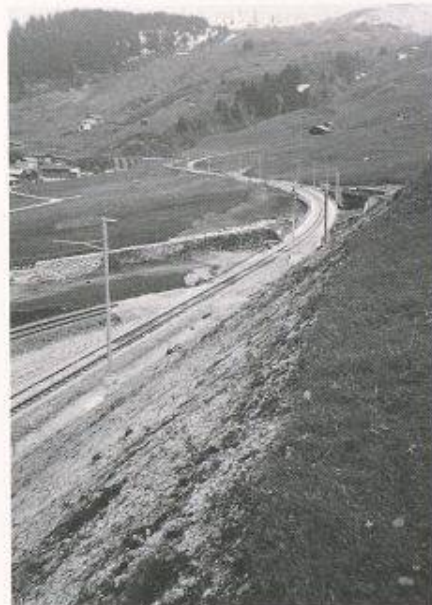


Bild 6. Gestecktes Trasse

Die Brücke wurde in zwei Etappen erstellt. Für beide Etappen wurde das gleiche Lehrgerüst (zwei Öffnungen) verwendet. Das Eigengewicht der ersten Etappe im Bauzustand der zweiten Etappe konnte durch die vorhandene, schlaffe Armierung ohne Lehrgerüsthilfe aufgenommen werden. Vorgespannt wurde die Brücke erst nach Fertigstellung beider Etappen. Die Spannkabel wurden nachträglich in die Hüllrohre eingestossen, es sind keine Kupplungen vorhanden. Die Gleisarbeiten wurden erst im Frühjahr 1991 ausgeführt, so dass die größten Setzungen der Dammschüttungen abklingen konnten.

Durch die gewählte Neutrassierung konnte die Brücke neben der bestehenden Bahnlinie erstellt werden, so dass keine Behinderung des Bahnverkehrs zu verzeichnen war. Die Erdarbeiten der Trassekorrektur mussten parallel zum alten Gleis ausgeführt werden, was zu einzelnen Behinderungen führte.

Qualitätssicherung Beton

Die Surselva ist bekannt für Probleme mit der Qualität des Betons. Ursache dafür ist der hohe Glimmeranteil der Feinbestandteile. Aus diesem Grund wurde zum vorneherein festgelegt, dass die Körnung <4 mm in besserer Qualität aus dem Kanton Uri (Flüelen) zugeführt wurde. Die Ausführung wurde dauernd mit Betonproben überwacht. Korrekturen konnten laufend in den Bauprozess einfließen.

Im Endquerträgerbereich wurde die Körnung >15 mm wegen der Armierungskonzentration weggelassen. Die Resultate zeigen, dass Beton der Qualität B 45/35 erreicht worden ist.

Umgebungsarbeiten

Lawinenleitdamm

Das dominierendste Element der Umgebungsarbeiten ist der Lawinenleitdamm. In den Jahren 1818–1826 gebaut und durch den Bahnbau durchbrochen, konnte er nun wieder vervollständigt werden und kann seine Funktion erneut vollumfänglich übernehmen. Die Beobachtungen zeigen, dass die Kanalisierung der Lawinen durch diesen Damm im gewünschten Sinn erreicht wird.

Der Damm wurde nach der Beseitigung des alten Bahndammes in der traditionellen Art und Weise mit lokal gewonnenen Findlingen und Steinen rekonstruiert. Mit Ausnahme der obersten Steinlage wurde kein Mörtel verwendet. Dass diese Bauweise hält, hat der alte Damm genügend bewiesen.

Begrünungen

Der neu geschüttete Damm, aber auch Anschnittflächen und das alte Bahntrasse mussten rekultiviert werden. Aufgrund des sehr mageren Untergrundes wurde ein Verfahren aus einer mit Microfasern armierten Vegetationsschicht von 5 cm Stärke anstelle des fehlenden Humus mit einer der Höhenlage angepassten Samenmischung gewählt. Wo genügend Humus vorhanden war, wurde eine konventionelle Mulchbegrünung eingesetzt.

Inbetriebnahme, Belastungsprobe

Auf dieser Bahnstrecke verkehrt der bekannte Glacier-Express Zermatt–St. Moritz. Sein Fahrplan ergab die Rahmenbedingung für die Inbetriebnahme, da unter keinen Umständen ein Unterbruch toleriert werden kann. Regionalzüge wurden mit einem Busersatzbetrieb geführt.

Bauprogramm:

- Streckenunterbruch 22. Mai 1991 14.00h



Bild 7. «Eröffnungszug»

- Gleisbauarbeiten
- Dieselbetrieb für die Glacier-Express-Züge am 23. Mai 1991 12.00h bis 14.00h auf der neuen Strecke
- Montage der Fahrleitung
- Inbetriebnahme elektrisch für alle Züge Freitag 24. Mai 1991 12.00h

Die Belastungsprobe wurde sodann am 30. Mai im Beisein des Bundesamtes für Verkehr durchgeführt. Als Belastung dienten zwei Lokomotiven des neuen Typs HGe 4/4 II, welche Achslasten von 16 t aufweisen. In mehreren Passen wurden die Deformationen gemessen. Die prognostizierten Durchbiegungen von 3 mm in Feldmitte des längeren Feldes wurden sehr genau eingehalten.

Kosten

Die Baukosten, ohne bahneigene Aufwendungen, betragen:

- für das eigentliche Brückenbauwerk Fr. 1.9 Mio
- für die Trasseekorrektur Fr. 1.4 Mio
- Total Kosten inkl. Honorare Fr. 3.3 Mio.

Schlussbetrachtung

Innerhalb von zwei Bausaisons konnte ein Brückenbauwerk von 110 m und eine Trasseekorrektur von insgesamt 600 m durchgeführt werden, womit eine wesentliche Verbesserung der Linienführung erreicht wurde. Gleichzeitig konnte durch die Freilegung des Lawinenzuges und die Aufhebung der Bahnübergänge eine vergrößerte Sicherheit gewonnen werden. Bautechnisch mussten wegen der speziellen Lawinensituation besondere Vorkehrungen getroffen werden.

Es wurden bei der Berechnung die neuen Belastungs- und Bemessungsnormen Nr. 160 und 162 der SIA verwendet. Dieses Bauwerk dürfte eines der ersten sein, wo diese Unterlagen vollständig zur Anwendung kamen.

Adresse des Verfassers: Robert Kröni, dipl. Ing. ETH, Kirchweg 83, 5416 Kirchdorf (ehemals Ingenieurbüro Straub AG Chur).

Bücher

Brückendynamik

Winderregte Schwingungen von Seilbrücken Von Uwe Starossek, 262 Seiten, 40 Abbildungen, 17x24,5 cm. Verlag Vieweg, Wiesbaden, 1992. Preis: geb. 128 DM.

Die Brückendynamik gewinnt angesichts der zunehmenden Kühnheit heutiger Bauwerke ständig an praktischer Bedeutung. Besondere Aufmerksamkeit gilt dem Phänomen Winderregte Flatterschwingung und der Konstruktionsgattung Seilbrücke. Das Werk ist

gegliedert in Einleitungskapitel, eine umfassende Einführung in Thema und Problematik, und vier Fachkapitel.

Zweidimensionale aeroelastische Systeme: Die aerodynamischen und aeroelastischen Grundzusammenhänge werden erörtert. Dies beinhaltet eine Diskussion der klassischen Flattertheorie der ebenen Platte. Die Aeroelastik des Biege-Torsions-Balkens: Der rechnerische Flatternachweis allgemeiner, linienförmig räumlicher Systeme erfordert eine theoretische Untersuchung der aeroelastisch bedingten Biege-Torsions-

Schwingungen von Balken. Sowohl die Methode des differentiellen Gleichgewichts als auch die Finite-Element-Methode werden angewandt. Die Dynamik des randpunkterregten Seiles: Zur Erfassung der dynamischen Seil-Balken-Interaktion, erforderlich für die Berechnung von Schrägkabelbrücken oder abgespannten Masten, wird die dynamische Steifigkeitsmatrix des gedämpften Einzelseils hergeleitet. Zur Dynamik und Aeroelastik von Seilbrücken: Das Schlusskapitel basiert auf den Erkenntnissen und Ableitungen der vorangegangenen Kapitel und fügt so die Teile zum Ganzen.