

Sunnibergbrücke - Projekt

Autor(en): **Baumann, Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **116 (1998)**

Heft 19

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79499>

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.

Bemerkungen zur Gestaltung

Die grundlegende Gestaltungsidee bestand im Entwurf einer mehrfeldrigen, (bezüglich Landschaft) massstäblichen, topographisch gut eingepassten Schrägkabelbrücke mit möglichst kurzen Pylonen. Damit liessen sich die erwünschte Transparenz und Schlankheit, die eine hohe technische Effizienz visualisieren, am besten erreichen. Im übrigen wurden die immer wieder betonten Kriterien für eine gute formale Gestaltung konsequent berücksichtigt [1]:

- Visualisierung der ganzheitlichen, monolithischen und räumlichen Tragwirkung
- Klare Organisation und Anordnung der Systemelemente
- Einheitliche, kohärente Gestaltung der Tragelemente und Querschnitte

- Visualisierung des Kraftflusses und der speziellen Systemstabilisierung (insbesondere dank Pfeilerform und leichter Pfeilerfüsse)
- Künstlerische Ornamentik durch Verfeinerung der Form und räumliche, lichtplastische Querschnittsgestaltung (insbesondere Pfeiler)

Schlussbemerkung

Bei einem optimalen Konzept ergibt sich die Form im wesentlichen fast zwangsläufig aus Statik und Konstruktion. Die bewusste architektonische Gestaltung reduziert sich auf sehr wenige Visualisierungs- und Ornamentikaufgaben.

Hohe ästhetische Qualität ist nicht gratis. Im vorliegenden Fall sind die Mehrkosten von 15% gegenüber der wirtschaft-

lichsten Lösung an der zulässigen Grenze aber gerechtfertigt. Die Kosten pro Laufmeter Brücke liegen weit unter dem Mittelwert für die gesamte Umfahrungsstrecke von Küblis bis Klosters-Selfranga.

Die neuartige Brücke stellte sehr hohe Anforderungen an die Planbearbeitung und vor allem auch an die Ausführung, die nur dank enger, motivierter und sorgfältiger Qualitätsarbeit aller Beteiligten erfüllt werden konnte.

Adresse des Verfassers:

Christian Menn, dipl. Ing. ETH SIA, Prof. Dr. Dr. h.c., Plantaweg 21, 7000 Chur

Literatur

[1]

Menn C.: The Place of Aesthetics in Bridge Design. Structural Engineering International, Volume 6, Number 2, May 1996

Karl Baumann, Chur

Sunnibergbrücke – Projekt

Die 526 m lange Sunnibergbrücke ist das markanteste Bauwerk der Umfahrung von Klosters. Sie überquert das Tal in einer Höhe von rund 60 m über der Landquart in einem Kreisbogen mit Radius 503 m. Das als fünffeldrige Schrägseilbrücke ausgebildete Tragwerk stellt ein technisch innovatives System dar, das auch in ästhetischer Hinsicht überzeugt. Die schlanke Ausbildung der hohen Pfeiler wird möglich, weil die Pfeilerköpfe durch die fugenlos in die Widerlager eingespannte Fahrbahnplatte stabilisiert werden.

Der Auftrag für die Projektierung und technische Bauleitung der Sunnibergbrücke wurde Ende Oktober 1995, das heisst lediglich 7 Monate vor Baubeginn, erteilt. In kurzer Zeit mussten nacheinander das Bauprojekt, die Submissionsunterlagen, und anschliessend sofort die Bearbeitung der Ausführungspläne durchgeführt werden. Nebst der umfangreichen Berechnung hat sich die Erarbeitung der Baupläne infolge der komplexen Geometrie als sehr anspruchsvoll erwiesen.

Erarbeitung der Ausführungspläne

Pfeiler und Pylone

Die Pfeiler stellen die markantesten Bauteile der Sunnibergbrücke dar. Die Formgebung hatte deshalb nicht nur den technischen, sondern vor allem auch den ästhetischen Anforderungen zu genügen.

In Brückenlängsrichtung müssen die Pfeiler genügend steif ausgebildet sein, damit die Trägerverformungen bei feldweiser Belastung in zulässigen Grenzen bleiben. In Querrichtung muss der Pfeiler eine möglichst zwangungsfreie Längenänderung des als in den Widerlagern eingespannter Bogen wirkenden Brückenträgers ermöglichen. Trotzdem muss das Rahmensystem die im Bauzustand auftretenden Windbeanspruchungen sicher abtragen.

Die Ausarbeitung der Feingeometrie wurde an dem mit 77 m höchsten Pfeiler P2 durchgeführt und anschliessend auf die übrigen drei Pfeiler übertragen. Die Neigung der beiden Pylonflügel wurde unter Berücksichtigung der Geometrie der Schrägseile am gekrümmten Überbau optimiert. Die definitive Formfindung erfolgte an einem speziell hergestellten

räumlichen Modell im Massstab 1:200. Die Modellkosten betragen rund Fr. 12 000.-.

Die gekrümmten Ecklinien in der Ansicht längs und quer wurden anschliessend in mathematisch geschlossener Form ausgedrückt (Parabeln 2. und 3. Ordnung). Mit diesen Formeln konnten die Querschnitte am Ende der durch den Unternehmer gewählten Betonieretappen genau definiert und planlich dargestellt werden. Die Herstellung der Pfeiler erfolgte polygonal zwischen den Betonierfugen.

Überbau

Die Fahrbahnoberfläche stellt infolge der Kombination von Krümmung, Längs- und Quergefälle eine gekrümmte räumliche Fläche dar. Die Hauptschwierigkeit bestand darin, die Kabellängen genau zu bestimmen (Toleranz der vorgefertigten Schrägkabel ± 5 cm) und gleichzeitig die bei jeder Verankerung ändernden Horizontalwinkel zwischen der Projektion der Kabelaxe in die Schalungsfläche und der Tangente an die Fahrbahnaxe zu ermitteln.

Die Verankerungspunkte im Pylon liegen auf einer Geraden und können somit auf einfache Art konstruiert werden. Viel schwieriger ist die Bestimmung der Verankerungspunkte am Brückenträger. Aus ästhetischen Gründen müssen die Durchstosspunkte aller Kabel mit der

Oberfläche des Brückenträgers einen konstanten seitlichen Abstand zur Brückenaxe aufweisen. Die sich rund 3,5 m hinter den Durchstosspunkten befindenden Abspannstellen weisen dagegen einen variablen Abstand zur Brückenaxe auf, was eine iterative Bestimmung von Durchstosspunkt und Abspannstelle bedingt.

Die Kabelgeometrie wurde mit einem räumlichen CAD-Programm bestimmt und mittels Vektoranalysis kontrolliert (Bild 1).

Statische Berechnung

Statisches Modell

Die Berechnung der Schnittkräfte wurde an einem dreidimensionalen Trägermodell mit finiten Stabelementen und linear-elastischem Materialverhalten durchgeführt. Die Geometrie der Stabaxen entspricht den Schwerachsen des effektiven Tragsystems (gekrümmte Träger- und Fahrbahnaxen). Die Lagerung wurde vereinfacht als vollständig eingespannt (Pfahlbankette) bzw. als in Brückenaxe elastisch gehalten (Widerlager) angesetzt.

Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung

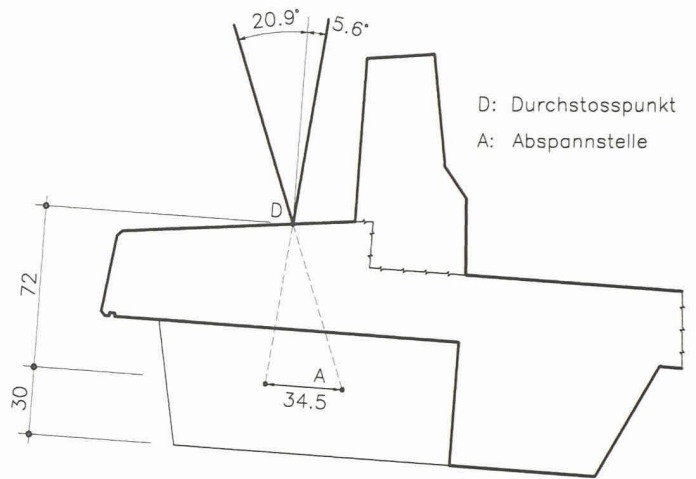
Schrägseile

Die Kabelkräfte aus Eigenlasten, ständigen Auflasten und Verkehr betragen 4000-4200 kN entsprechend der Laufmeterbeanspruchung von 280 kN/m bei einem Seilabstand von 6 m. Bei der für Schrägseilbrücken üblichen Bemessung auf Gebrauchsniveau mit $\sigma_{adm} = 0,5 f_{tk}$ resultieren Seile mit 135 Drähten $\phi 7$ mm.

Pylon und Querträger

Bei der Sunnibergbrücke bewirken die Ablenkkräfte aus der Krümmung des Überbaus sehr grosse Querbiegebeanspruchungen im unteren Bereich der Pylonscheiben. Bei der kurvenaussenseitigen Pylonscheibe erreicht das Biegemoment auf Bemessungsniveau rund 50 MNm (inklusive Einfluss 2. Ordnung). Dieses Moment wird durch den massiven, vorgespannten Querträger in unterschiedliche Normalkräfte der beiden Pfeilerstiele umgewandelt (Pfeilerstiel auf Kurveninnenseite überträgt rund 65% der gesamten Vertikallast). Gleichzeitig treten im Einspannungsquerschnitt des Pylonflügels die grössten Längsbiegemomente auf. Sie erreichen bei feldweiser Belastung rund 75 MNm auf Bemessungsniveau. Diese hohen Beanspruchungen führen trotz massiver Vorspannung (zentrische Normalspannung aus Vorspannung $\sigma = 3,4 \text{ N/mm}^2$) zu Bewehrungsgehalten von über 200 kg/m³ (Bild 2).

1
Kabelgeometrie am Brückenträger



Verformungen unter Verkehrslasten

Die vertikalen Verformungen infolge feldweiser Verkehrslast stellen bei der Sunnibergbrücke ein massgebendes Bemessungskriterium dar. Sie wurden in Rücksprache mit der Bauherrschaft auf $\frac{1}{400}$ der Spannweite begrenzt. Die angesetzte Verkehrslast besteht aus der verteilten Last von 2 kN/m² und der stark ins Gewicht fallenden Einzellast Q von 360 kN. Bei letzterer wurde entsprechend der tiefen Eigenfrequenz von unter 1 Hz der Stosszuschlag auf $\phi = 1,2$ reduziert. Die Einsenkung wurde am ungerissenen System mit einem E-Modul von 35 000 N/mm² ermittelt.

Im Feld mit der grössten Spannweite von 140 m beträgt die so berechnete Einsenkung 235 mm und entspricht somit $\frac{1}{600}$

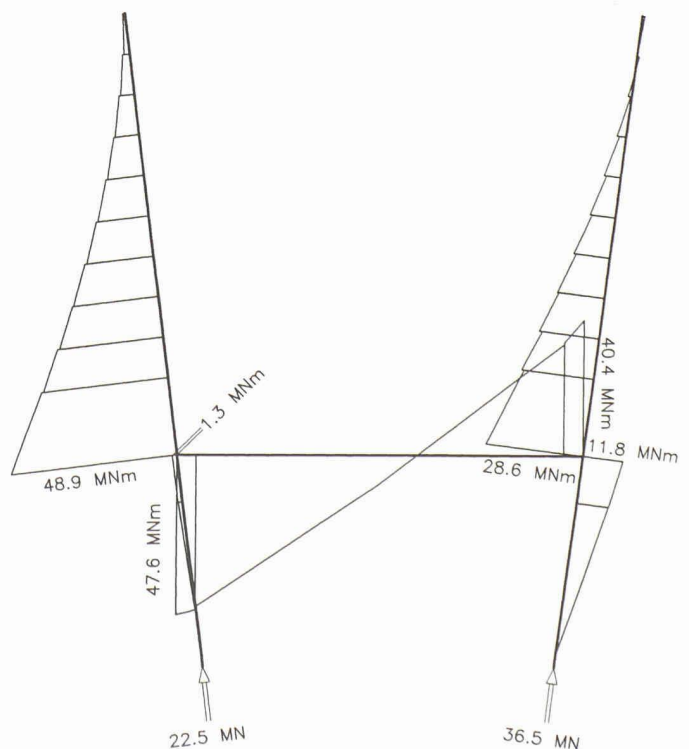
der Spannweite. Rund 40% der Verformung stammen aus der Verdrehung des Pfeilerkopfs und 60% aus der elastischen Verlängerung der Seile. Die beiden Nachbarfelder weisen nach oben gerichtete Verschiebungen von 60 mm, d.h. etwa 25% der Verformung im Hauptfeld auf.

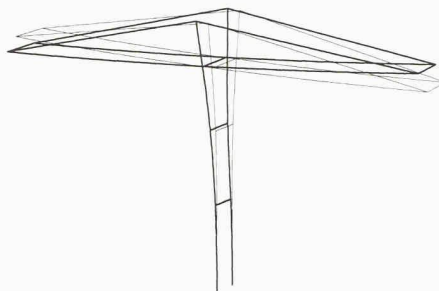
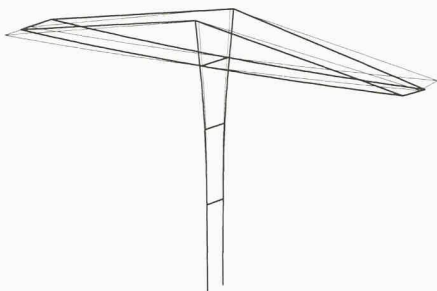
Das Resultat macht deutlich, dass das Tragsystem in bezug auf Verformungen an die Grenzen stösst, und dass die Einspannung des Trägers in die Widerlager mit der damit verbundenen Fixierung der Pfeilerköpfe auf Fahrbahnhöhe eine notwendige Massnahme darstellt.

Dynamische Analyse im Bauzustand

Dynamische Berechnungen sind nur in Ausnahmefällen notwendig, wenn die Beanspruchung stark von der Tragwerks-

2
Biegemomente $M_{y,d}$





3

Pfeiler P2, erste bis dritte Schwingungsform

eigenfrequenz abhängig ist, oder wenn mit Resonanzerscheinungen gerechnet werden muss.

Für die Sunnibergbrücke musste der Zustand mit maximaler Auskragung von 66 m bei den vorhandenen hohen und schlanken Pfeilern sorgfältig untersucht werden. Die als Leitfahr auf tretende dynamische Windlast führte dazu, dass das Kragssystem abgespannt und die Bewehrungen im unteren Bereich der Pfeiler gegenüber dem Endzustand verstärkt werden mussten.

Die Eigenfrequenzen der drei ersten Modalformen betragen für den Zustand mit maximaler Auskragung:

Ohne Windabspannung	Mit Windabspannung
$f_1=0,04$ Hz	$f_1=0,09$ Hz
$f_2=0,12$ Hz	$f_2=0,16$ Hz
$f_3=0,29$ Hz	$f_3=0,30$ Hz

Die erste Schwingungsform (Bild 3) entspricht einer horizontalen Auslenkung der Fahrbahn mit einer in Längsrichtung gegenläufigen Auslenkung der beiden Pfeilerstiele (Torsion). Bei der zweiten Schwingungsform handelt es sich um eine Längs- und bei der dritten um eine Querbiegeschwingung des Pfeilers.

Für Windbeanspruchung massgebend ist die erste Schwingungsform mit $f_1=0,09$ Hz (abgespanntes System). Für

den dynamischen Windbeiwert c_{dyn} erhält man dabei rund 1,5. Am nicht abgespannten System mit $f_1=0,04$ Hz steigt c_{dyn} auf 1,65. Diese Ergebnisse zeigen sehr schön die starke Abhängigkeit des als Stosszuschlag eingeführten dynamischen Lastanteils.

Adresse des Verfassers:

Karl Baumann, dipl. Ing. ETH, Bänziger+Köppel+Brändli+Partner, Ringstrasse 37, 7000 Chur

Beat Rietmann, Serneus

Sunnibergbrücke – Besonderheiten der Ausführung

Die Sunnibergbrücke mit dem neuartigen Konzept und der sehr komplizierten Geometrie beeindruckt aufgrund der technischen Innovation und der überzeugenden Ästhetik. Für die Ausführung dieses äusserst komplexen Bauvorhabens waren verständlicherweise verschiedenste Schwierigkeiten zu bewältigen.

Im folgenden wird versucht, einige Besonderheiten aufzuzeigen und deren Ausführung zu beschreiben. Natürlich ist diese Schrägseilbrücke mit den Lösungen der beschriebenen Probleme noch lange nicht gebaut, sondern es steht damit erst ein Grundgerüst der Bauausführung. Erst die Bewältigung von vielen Detailproblemen führt schliesslich zum Erfolg.

Absteckung und Vermessung

Bereits in der Submissionsphase hatten wir uns mit der ganzen Problematik der Vermessung und der Absteckung eingehend befasst, um einerseits das richtige Vermessungssystem und Absteckungsverfahren zu wählen und andererseits Aufwendungen und Kosten zu erfassen und zu optimieren.

Pfeiler und Pylon

Die einzelnen Pfeiler- bzw. Pylontappen sind durch stetige Querschnittsveränderungen in Brückenlängs- und durch zunehmende Vorneigungen in Brückenquerrichtung gekennzeichnet. Für die Absteckung wählten wir ein einfaches und effizientes Verfahren. Ausgehend von im Gelände versicherter Pfeiler- und

Brückenaxe (möglichst weiträumig) konnten mit dem Theodolit zwei vertikale, orthogonal zueinander liegende Referenz-Ebenen bestrichen werden. Bezüglich dieser Ebenen wurden nun die notwendigen Schalungspunkte mit dem Messband auf der entsprechenden Höhenkote eingemessen. Dabei gestaltete sich die Berücksichtigung von Projekt- oder Schalungsüberhöhungen und/oder allfälligen Soll-Korrekturen ebenfalls sehr einfach.

Diese Absteckungsmethode war vom Polier und seinen Gehilfen (Pfeiler- und Brückenaxen wurden vom Geometer abgesteckt und versichert) selbständig zu bewältigen und ermöglichte eine Lageüberprüfung der Schalung zu jedem Zeitpunkt der Pfeilererstellung (z.B. nach dem Armieren bzw. vor dem Betonieren; oder während und nach dem Betonieren) ohne grösseren Aufwand. Auch bezüglich Präzision wusste diese Methode zu überzeugen. Beim Pfeiler P2 betrug die maximale Abweichung eines Eckpunkts zur Sollage, auf einer Höhe von 60 m, lediglich 13 mm. Wenn man bedenkt, dass die garantierte