

# Sunnibergbrücke - Konzept

Autor(en): **Menn, Christian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 19

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79498>

## **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.

Christian Menn, Chur

## Sunnibergbrücke – Konzept

Unter einem Brückenkonzept versteht man den ersten generellen Tragwerksentwurf, aus dem das Tragsystem und generell die Hauptabmessungen, die Querschnittsgestaltung, die Fundationsart und der Bauvorgang ersichtlich sind. Die Machbarkeit des Tragwerks muss mit ein paar überschlägigen statischen Berechnungen nachgewiesen werden, eine Überschreitung der geschätzten Kosten um mehr als 20% sollte unwahrscheinlich (höchstens noch etwa 10%) sein.

Die Arbeit des konstruktiven Ingenieurs beruht einerseits auf der Baukunde, dem handwerklich-normativen Teil mit dem Nachweis von Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit und andererseits auf der Ingenieurbaukunst, dem eigentlichen kreativen Teil mit der Optimierung und Balance von Wirtschaftlichkeit und Ästhetik.

Grundsätzlich ist die Baukunde – vor allem mit Blick auf die Sicherheit – prioritär und juristisch relevant, die Baukunst hat sekundäre Bedeutung; juristisch relevant sind höchstens grobe Fehler im Kostenvoranschlag.

Bei der Entwicklung und Erarbeitung des konstruktiven Konzepts sind Baukunde und Baukunst jedoch gleichwertig; es gibt keine Hierarchie. Man geht nicht von irgendeinem funktionellen, tragsicheren System aus, das am Schluss noch gestaltet wird, und man darf auch nicht von einer architektonischen Idee ausgehen, die mit mehr oder weniger Mühe vom Statiker zum Tragen gebracht wird.

Am vernünftigsten ist es, das konstruktive Konzept – immer mit Blick auf eine optimale Balance von Wirtschaftlichkeit und Ästhetik – pragmatisch aus den funktionellen Anforderungen und den spezifischen Randbedingungen zu entwickeln, wobei die Randbedingungen die kreative Entwurfsarbeit entscheidend beeinflussen.

Die funktionellen Anforderungen umfassen neben der Baukunde die Verkehrsart, die Linienführung der Fahrbahn und den Fahrbahnquerschnitt.

Zu den Randbedingungen zählen in technischer Hinsicht Topographie, Geologie, Hydrologie und Lichtraumprofile, in ökonomischer Hinsicht Bauzeit, Arbeits- und Baustoffkosten und in gestalterischer Hinsicht Stand der Technik, Massstäblichkeit des Bauwerks und Bauwerksgeschichte. Baukunde und Baukunst fließen somit gleichwertig in den konzeptionellen

Entwurf ein. Wirtschaftlichkeit und Ästhetik konkurrenzieren sich zunächst nicht; sie tendieren in die gleiche Richtung.

Im weiteren Verlauf des Entwurfsprozesses sind jedoch Kosten und Ästhetik nicht mehr ganz unabhängig voneinander. Der Konstrukteur muss nun subjektiv entscheiden, wieviel er für Gestaltung und Formverfeinerung aufwenden will. Der Kostenrahmen ist aber beschränkt; d.h. zu Gunsten höherer ästhetischer Qualität dürfen – je nach Bedeutung und Exposition des Bauwerks – bei mittelgrossen Brücken höchstens etwa 15% und bei sehr grossen Brücken höchstens etwa 5% aufgewendet werden.

Wenn das gewählte Konzept im Vergleich zur billigsten Lösung höhere Kosten aufweist, dann sollte es aufgegeben werden; denn die Kunst des Ingenieurs besteht nun einmal darin, bei möglichst geringen Mehrkosten eine möglichst hohe ästhetische Qualität zu erreichen. Ausnahmen sind nur möglich, wenn eine Brücke viel mehr ist als ein Zweckbau, z.B. ein Ausstellungs-Wahrzeichen.

In bezug auf Ästhetik spielt einerseits die Einpassung des Bauwerks in die Umwelt und andererseits die Bauwerksgestaltung eine entscheidende Rolle; und da die Ingenieure in diesen Belangen nicht gerade gut ausgebildet sind und oft auch nicht ein besonders gutes Formgefühl haben, erwartet man (d.h. Laien, Bauherren und Ingenieure) die entscheidenden Impulse von den Architekten. Nun sind die Architekten gewohnt, ohne grosse Rücksicht auf die Kosten und oft sogar ohne grosse Rücksicht auf die funktionellen Anforderungen den Baukörper, die Fassade, die Baustoffe, die Raumanordnung, die Belichtung, Beleuchtung usw., aber praktisch nie die Konstruktion als architektonische Ausdrucksmittel zu verwenden. Brücken bestehen aber zu mindestens 90% aus Konstruktion, und deshalb kann der Architekt, der in der Regel nichts von Konstruktion versteht, niemals die konstruktive Kreativität und Phantasie des Ingenieurs ersetzen. Architektonische Brückenkonzepte sind bestenfalls formal originell; aber sie vermögen nie restlos zu überzeugen, denn sie können nie konstruktiv kreativ und innovativ sein. Sie werden mit grossem Aufwand eingeläutet; aber sie verlassen bald wie mittelmässige Kunst.

Andererseits dürfen Brückenkonzepte auch nicht aus einer statischen Extravaganz oder aus einem unnötigen Rekord-

### Entwurf

Tiefbauamt Graubünden  
Berater A. Deplazes, dipl. Arch. ETH  
Konzept Prof. Dr. C. Menn, Chur

### Projekt

Bänziger + Köppel + Brändli + Partner, Chur

denken entwickelt werden. Die Tatsache, dass ein Tragsystem – weil bisher nicht berechenbar – im guten Sinne originell und innovativ sei, hat nicht das Geringste zu tun mit konstruktiver Kreativität; hierfür lohnt sich kein finanzieller Mehraufwand.

Allerdings, die Mitwirkung eines mit dem Brückenbau vertrauten Architekten ist wertvoll, vor allem bei der Konzept-evaluation und in unterstützendem Sinne bei der Bauwerksgestaltung.

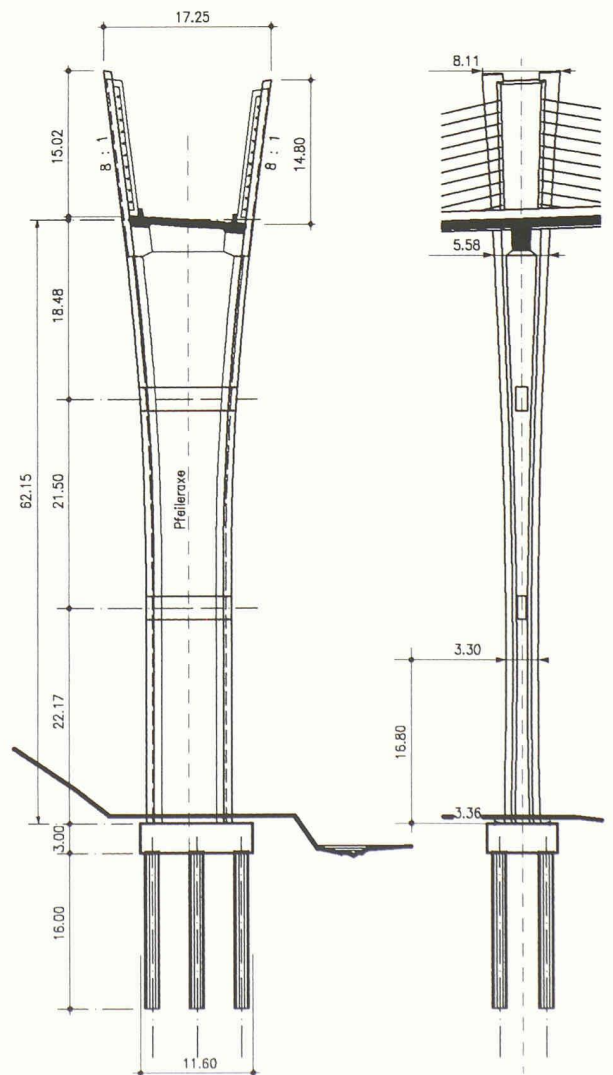
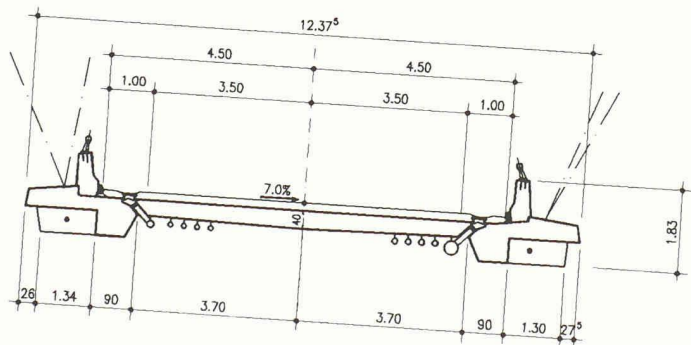
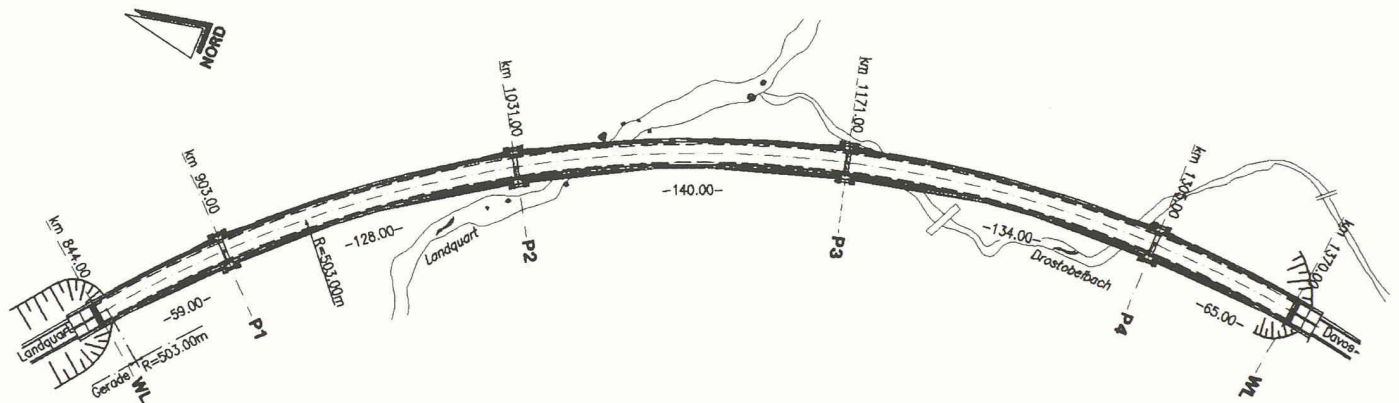
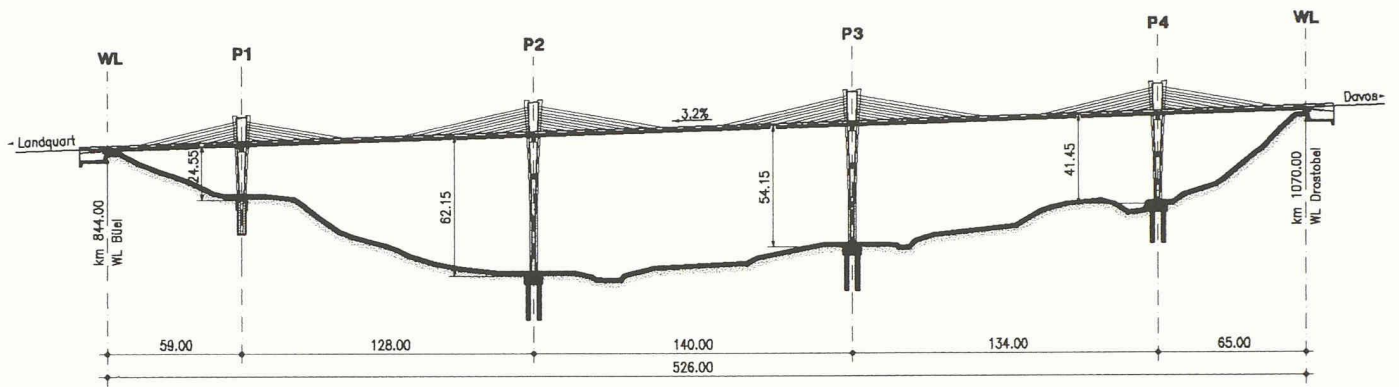
Gestaltungsgrundsätze wie Einheitlichkeit und Ordnung im Tragwerk, in den Tragwerkselementen und in den Querschnitten oder Gestaltungsaufgaben wie die Visualisierung des Kraftflusses könnten aber auch vom Ingenieur wahrgenommen werden, wenn er diese Probleme erkennen würde. Die Überlegenheit des Architekten liegt nämlich nur darin, dass er (meistens) über ein geschultes Formgefühl und mehr gestalterische Phantasie verfügt.

Ohne den entschiedenen Einsatz des beratenden Architekten wäre die Sunnibergbrücke aber sicher nicht in der heutigen, überzeugenden Form gebaut worden. Er erkannte sofort das architektonische Potential des vorgeschlagenen Konzepts, während Ingenieure weder auf entsprechende frühere Publikationen noch auf die Ausstellung des genau gleichen Konzepts im Rahmen einer Diplomarbeit reagiert hatten.

### Hauptmerkmale des Konzepts der Sunnibergbrücke

Die Sunnibergbrücke der Prättigauerstrasse Landquart-Davos ist das «sichtbare» Kernstück der 10 km langen und 800 Mio. Franken teuren Umfahrungsstrecke Küblis-Saas-Klosters. Die 525 m lange Brücke überquert das Tal in 60 m Höhe in einer Kurve mit 500 m Radius. Die Brücke ist sehr exponiert und von weither sichtbar. Mit Blick auf die Sensibilität der Anwohner, insbesondere jener von Klosters, die bezüglich Umweltschutz mit den langen Tunneln sehr hohe und sehr teure Forderungen gestellt hatten, aber auch mit Blick auf die zahlreichen Benutzer der Umfahrungsstrasse aus dem In- und Ausland wurde grösster Wert auf hohe ästhetische Qualität gelegt.





Die Brücke sollte das Tal nicht abriegeln; sie sollte vielmehr eine hohe Transparenz aufweisen, und da sie talaufwärts in der Verkürzung gesehen wird, waren Spannweiten von deutlich über 100 m wünschenswert. Mit einem eleganten, modernen und originellen Bauwerk sollte gezeigt werden, dass in dieser Gegend neben Berglandwirtschaft, Massen- und Kongresstourismus auch technisch und kulturell hochwertige Leistungen erbracht werden können.

Das heisst nichts anderes, als dass - in der Balance von Wirtschaftlichkeit und Ästhetik - bei absolut überzeugender ästhetischer Qualität an die Grenze des zulässigen finanziellen Mehraufwands von

1  
Übersicht: Längsschnitt und Grundriss (oben), Pfeiler (rechts) und Querschnitt durch Fahrbahn (links Mitte)

rund 15% gegangen werden konnte. Da sich Topographie und Linienführung nicht für ein Bogentragwerk eignen, liessen sich die erwünschte Transparenz und die relativ grossen Spannweiten im Grunde genommen nur mit einer mehrfeldrigen Schrägkabelbrücke befriedigend erreichen (Bild 1).

Mehrfeldrige Schrägkabelbrücken auf hohen Pfeilern weisen ein statisches und ein formales Problem auf. Das statische Problem besteht darin, dass die einzelnen Kragssysteme in bezug auf feldweise Verkehrslast stabilisiert werden müssen; das formale Problem liegt im unharmonischen, wenig überzeugenden Verhältnis der hohen Pfeiler zu den üblichen (statisch effizienten) ebenfalls hohen Pylonen.

Für das statische Problem bieten sich drei Lösungen an (Bild 2):

- a) Stabilisierung der Pylonspitzen mit massiver Reduktion der Pylonmomente durch Stabilisierungskabel zu den benachbarten Pylonfüssen.
- b) Stabilisierung der Pylonspitzen mit massiver Reduktion der Pylonmomente durch Überspannung mit Stabilisierungskabeln, die hinter den Endwiderlagern fest verankert sind.
- c) Stabilisierung jedes einzelnen Krag-systems mit biegesteifen Pylonen.

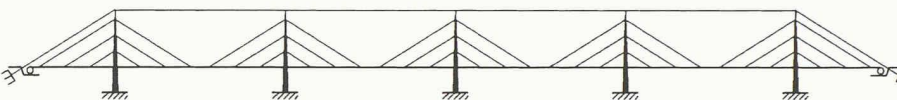
Die ersten beiden Stabilisierungsvarianten sind bei kurzen Pylonen nicht effizient. Das formale Problem besteht darin, hohe Pfeiler und kurze Pylone zu einer überzeugenden Einheit zu verbinden.

Bei einem freistehenden Kragssystem sind die Pylonmomente infolge einseitiger Verkehrslast unabhängig von der Pylonhöhe. Die reinen Pylonkosten sind deshalb bei kurzen Pylonen deutlich kleiner als bei hohen Pylonen; demgegenüber sind aber die Kabelkosten (wegen der höheren Kabelkräfte) wesentlich grösser. Mit der flacheren Kabelneigung nehmen natürlich auch die Druckkräfte im Träger zu, und dadurch wird die Spannweite begrenzt. Das Hauptproblem der niedrigen Pylone und flachen Kabel sind aber die Durchbiegungen. Die wichtigsten Anteile an die Durchbiegungen liefern einerseits die Kabeldehnungen und andererseits die Pylon- und Pfeilerbiegung.

Im Prinzip weisen Freivorbau(Krag-)Träger eine noch viel flachere Kabelneigung auf. Hier dienen aber die Kabel zur Vorspannung des Beton-(Zug-)Gurts, der eine sehr hohe Steifigkeit und dementsprechend kleine Dehnungen aufweist. Das gilt auch, wenn die Spannkabel nicht im Verbund wirken. Erst wenn der Zuggurt dekomprimiert ist, wirkt sich die starke Kabeldehnung (dann aber massiv) auf die Durchbiegungen aus. Ein ähnliches durchbiegungsunempfindliches Verhalten



a)



b)



c)

2  
Stabilisierungsmöglichkeiten für die Pylone

(wie Kragträger) zeigen Zügelgurtbrücken, wie z.B. die Ganterbrücke oder Brücken mit betonummantelten Schrägkabeln.

Bei normalen Schrägkabelbrücken ist eine Kabelverstärkung (über die erforderliche Sicherheit hinaus) ausschliesslich zur Verminderung der Durchbiegungen unwirtschaftlich. Einfach und sinnvoll ist eine, soweit formal mögliche Pylon/Pfeiler-Verstärkung. Man erhält somit die «optimal» niedrigste Pylonhöhe, indem man die Kabel auf Tragsicherheit bemisst und Pylon und Pfeiler steif, aber formal überzeugend gestaltet.

Eine wichtige Rolle spielt dabei natürlich auch das statische Pfeilersystem. Wenn der Pfeilerkopf (beim Trägeranschluss) gehalten ist, ist der Einfluss auf die Durchbiegungen viel kleiner als bei verschieblichem Pfeilerkopf. Bei der Sunnibergbrücke liess sich die Fixierung der Pfeilerköpfe - wegen der Brückenkrümmung im Grundriss - durch die fugenlose, monolithische Verbindung des Trägers mit den Endwiderlagern sehr einfach realisieren. Temperaturänderungen wirken sich hauptsächlich durch horizontale Trägerverformungen senkrecht zur Brückenachse aus, und die Pfeiler erfahren in dieser Richtung Zwangsverformungen. Damit der Pfeilerwiderstand nicht zu gross wird, dürfen die Pfeiler nicht als Scheiben ausgebildet werden. Durch die Auflösung der Pfeiler in ein Vierendeelsystem kann der Pfeilerwiderstand deutlich vermindert werden. In der Brückenansicht sind die Pfeiler nach unten verjüngt, was genau

dem Kraftfluss bzw. dem Momentenverlauf bei einseitiger Verkehrslast entspricht; die grösste Biegebeanspruchung tritt am Pfeilerkopf bzw. Pylonfuss auf. Die sich nach oben erweiternden Pfeiler vermitteln den Eindruck, dass die Brücke ganz natürlich aus dem Auenwald herauswächst und nicht in den Wald hineingestellt wurde.

Der Pfeilerquerschnitt wird konsequent in die Pylone verlängert. Die vierendeelartigen Pfeiler finden in den Pylonen eine natürliche und funktionelle Fortsetzung. Die Pylone müssen zur Gewährleistung des Lichtraumprofils der gekrümmten Fahrbahn nach aussen geneigt werden; damit wird aber auch nach unten die Pfeilerform (Abstand zwischen den Pfeilergurtungen) bestimmt. Die Brückenkrümmung verursacht eine starke Querbiegung in den Pylonen mit dem Maximum in den Fusspunkten.

Durch einen massiven Querträger unter dem Fahrbahnträger wird die Querbiegung in ein Kräftepaar in den beiden Pfeilergurtungen umgewandelt. Die Fortsetzung des Pfeilerquerschnitts in die Pylone ergibt wieder auf natürliche Art die optimale Gestaltung für die Kabelverankerung. Die Schrägkabel bestehen aus verzinkten Paralleldrähten in «gefetteten» Hüllrohren.

Der Brückenträger ist als Platte mit Randverstärkungen ausgebildet; die Querschnitte der Pfeiler, Pylone und Fahrbahn weisen somit die gleiche Querschnittstypologie auf und unterstreichen damit die Einheitlichkeit und die Ganzheitlichkeit des gesamten Brückentragwerks.



### 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  $\pm 5$  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 Durchstossunkte aller Kabel mit der